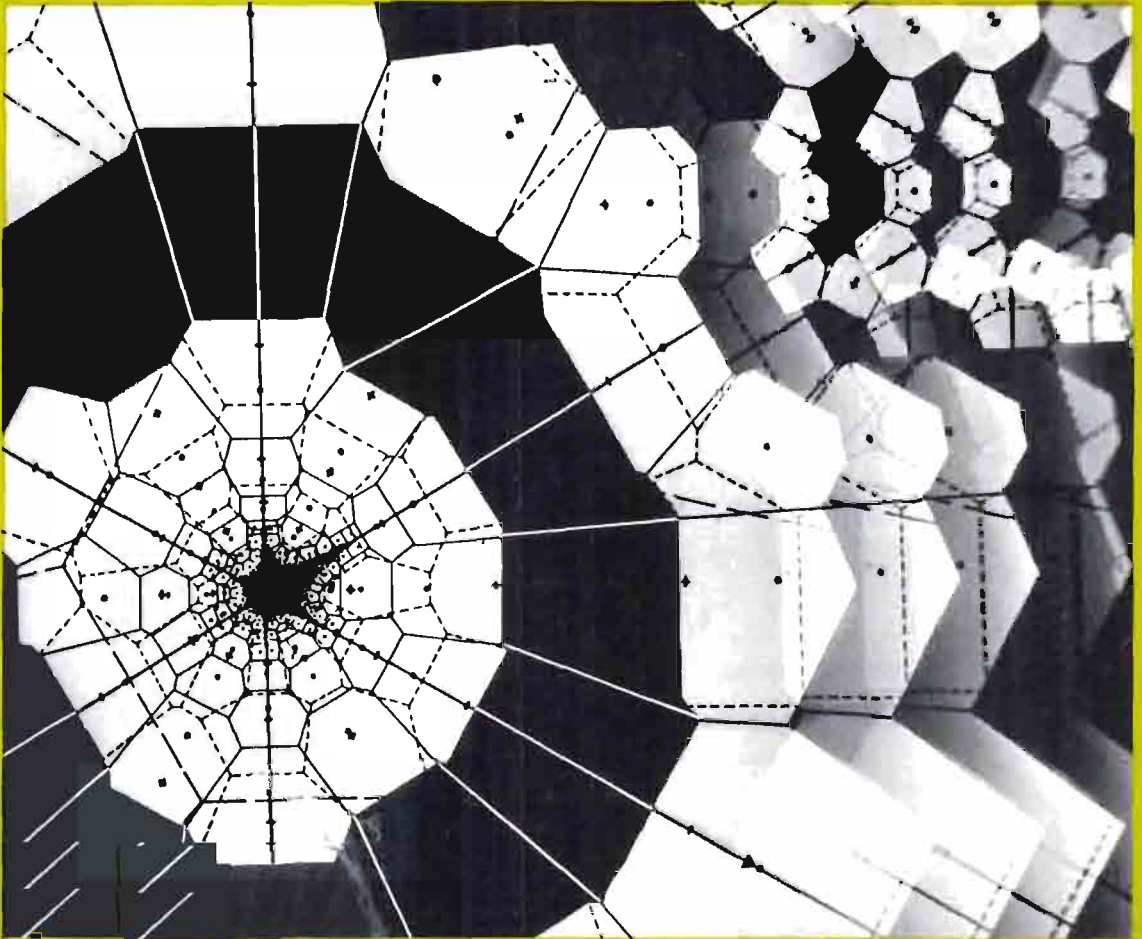


Peter Haggett

l'analyse spatiale en géographie humaine



Armand Colin — collection U

Peter Haggett,
né en 1933, a enseigné au Collège universitaire de Londres et à l'Université de Cambridge où il entreprit une série de cours sur les aspects nouveaux de la recherche géographique ; ceux-ci furent d'ailleurs l'ébauche de certains chapitres de cet ouvrage. Il rencontra Brian J.L. Berry à l'occasion d'un séminaire de science régionale à l'Université de Berkeley. Revenu en Grande-Bretagne, il fut plusieurs années professeur à l'Université de Bristol. Depuis 1973, il est professeur à l'Université d'Oxford.

Auteur de nombreux articles de géographie quantitative, il a rédigé en collaboration avec R. Chorley trois ouvrages sur la «nouvelle géographie». Il vient de publier à Londres *Geography. A modern synthesis*.

La traduction française a été établie par Hubert Fréchou, maître de recherches à l'O.R.S.T.O.M.

l'analyse spatiale en géographie humaine

Peter Haggett

l'analyse spatiale
en géographie humaine

traduction de
Hubert Fréchou

Armand Colin

103 bd Saint-Michel, Paris 5^e

Cet ouvrage a été publié en Grande-Bretagne sous le titre
Locational Analysis in Human Geography
par Edward Arnold Ltd. La traduction a été établie d'après la 4^e édition (1968)

© Librairie Armand Colin, Paris, 1973.

PRÉFACE

Peter Haggett expose lui-même, dans l'avant-propos, de quelle façon il a élaboré ce livre. Il a senti la nécessité de transmettre en un ouvrage accessible l'énorme masse de publications consacrées aux tendances récentes de la géographie. Beaucoup d'entre elles, dispersées, pas toujours imprimées, étaient d'un abord décourageant, désorientaient le lecteur. Il était indispensable et urgent d'ordonner les connaissances, de présenter les méthodes et les techniques, de faire comprendre pourquoi était né et grandissait ce courant puissant de pensée et de recherche qui se présentait en novateur.

Locational Analysis in Human Geography a été le premier manuel de cette « nouvelle » géographie, ce qui explique son audience considérable et les raisons de cette édition française.

Depuis la première édition anglaise, la bibliographie du sujet s'est amplifiée dans des proportions stupéfiantes; les revues, les bibliographies, les manuels, les thèmes de recherche, les techniques se sont multipliés, précisés¹. Mais les qualités du présent ouvrage demeurent. C'est d'abord un souci de continuité avec la pensée géographique des cent dernières années. Les références aux précurseurs du XIX^e siècle, aux fondateurs de la géographie moderne, aux géographes de l'entre-deux-guerres, parmi lesquels les français ne sont pas les moins cités, sont nombreuses.

C'est ensuite la démonstration que la pensée géographique, les concepts du géographe ne doivent jamais être placés au second plan derrière les techniques mathématiques. Ces techniques sont mises au service d'une approche, d'une conception de la géographie qu'aucun géographe ne saurait récuser.

La géographie humaine a toujours été sensible à deux optiques, complémentaires mais contrastées :

1. C'est la raison des compléments bibliographiques de l'édition française.

PRÉFACE

L'une prend comme objet principal de ses recherches les hommes, étudiant les populations, leurs structures sociales, leurs genres de vie : c'est la géographie de *l'homme – habitant*.

L'autre considère davantage *l'espace habité par les hommes*. Ce courant s'est exprimé par l'analyse des localisations, des paysages, de l'organisation de l'espace. La présence des hommes dans un milieu aux composantes spatiales nécessairement spécifiques, aux contenus écologiques précis, entraîne des localisations, des lieux de peuplement d'industries, de villes, l'établissement de trames administratives, de réseaux et de pôles de développement économique, de commandement, les uns et les autres concourant à une organisation territoriale. L'espace n'est plus seulement un support de phénomènes mais un agent physique dont les éléments, distances, gradients, rythmes jouent un rôle important.

Reprenant sous une forme moderne des concepts présents dans la géographie traditionnelle, la « nouvelle » géographie leur donne une vigueur neuve, une portée mal perçue auparavant parce qu'elle s'appuie sur des outils méthodologiques perfectionnés. Au service de cette analyse spatiale, des méthodes quantitatives sont utilisées; elles aussi ne sont pas totalement inédites, car le chiffre et la mesure n'ont jamais été absents de la géographie, mais les applications en étaient fragmentaires, isolées.

La mesure, la comparaison des mesures, les corrélations, la pondération des composantes d'une structure spatiale, la connaissance des facteurs et du poids respectif de ces facteurs dans la différenciation et l'organisation d'un territoire représentent un progrès scientifique considérable.

A la géographie collectrice de faits, typologique, exceptionnaliste, empirique, inductive, les recherches dont Peter Haggett fait état substituent une géographie théorique, déductive, recherchant la logique, les régularités, les principes de différenciation et d'organisation, identifiant des structures spatiales, dégageant des modèles et des séquences d'organisation territoriale.

Par la nouveauté de cette analyse géographique, l'espace devient compréhensible, s'organise; toutes les pièces d'un puzzle considérées comme isolées trouvent leurs explications de localisation, de forme, d'intensité sous les effets combinés des données naturelles, de l'histoire des volontés et des possibilités humaines et des contraintes inhérentes à tout espace, s'exprimant en distances, en accessibilité, en coûts.

Comme nous l'avons dit, rien n'est totalement nouveau dans cette optique, mais les interprétations permises par les techniques quantitatives sont véritablement neuves et scientifiques.

La science ne progresse pas continûment et régulièrement, et tout progrès porte en lui des erreurs, des outrances inévitables. Mais les exagérations, les enthousiasmes incompetents ne doivent pas masquer la réalité du progrès.

Le progrès réside dans l'emploi d'un outil mathématique précieux et non dans l'emploi de n'importe quelle technique, utilisée pour elle-même sans souci du point d'application, considéré comme secondaire ou subordonné aux exigences du traitement. On a déjà perçu à l'étranger les dangers de ce jeu mathématique pur sacrifiant la problématique à la méthodologie.

Le progrès réside dans la possibilité de mieux saisir la *réalité* géographique, d'accéder à une géographie générale authentique, c'est-à-dire elle-même synthétique et spatiale, et de ne plus se contenter d'une géographie qui ne devient générale qu'en se décomposant en éléments simples.

Le plus grand danger serait que par méfiance, par manque de formation et par refus de s'ouvrir à ces concepts, à ces techniques, la géographie se divisât et s'opposât en une géographie quantitative et une géographie traditionnelle. Car la géographie plus que toute autre science n'existe et ne progressera que nourrie par ce double courant conjugué, tant le logique et l'illogique, le déterminé et le non-déterminé, le quantifiable et le non-quantifiable, le prévisible et le non-prévisible se mélangent dans chaque fait géographique.

Sept ans après la parution de ce livre, on peut déjà mesurer à quel point la « nouvelle » géographie a influencé la totalité de la géographie : le vocabulaire de la géographie a changé; la façon de poser les problèmes, de raisonner en termes de mesure s'impose davantage d'année en année, consciemment ou inconsciemment.

L'ouvrage de P. Haggett permet au lecteur de mieux apprécier la nouveauté des apports, de mieux comprendre la nature des méthodes et des techniques quantitatives. Son but n'est pas d'introduire à la totalité des recherches déjà entreprises dans ce domaine, mais d'éveiller la curiosité du lecteur, de lui donner envie de prolonger cette initiation à l'étude logique et mathématique de l'organisation de l'espace terrestre.

Philippe PINCHEMEL.

AVANT-PROPOS

La disparition d'Auguste Lösch, mort en 1945 à 39 ans, a sérieusement retardé les études sur l'organisation de l'espace. A l'évidence, et ses derniers travaux le révèlent, il se savait au seuil d'une nouvelle « percée » scientifique. Isolé par la guerre des données américaines, desquelles il attendait beaucoup pour vérifier ses théories, ne voulant pas sacrifier la réalité scientifique à la séduction intellectuelle, il contempla une récolte qu'il ne pouvait moissonner lui-même.

Depuis la mort de Lösch, les méthodes d'analyse de l'espace géographique ont considérablement progressé. Aux États-Unis, une équipe d'économistes conduite par Isard et des équipes de géographes animées par des maîtres tels que Garrison et Berry ont exploré ce domaine nouveau; en Suède, l'école de Hägerstrand a relancé les études diachroniques. Ces développements ont tout à la fois stimulé et troublé les géographes anglais : stimulé parce qu'ils promettaient de rajeunir une géographie humaine traditionnelle, attachée à l'étude des régions ou des produits, ou subdivisée en branches telles que la « géographie économique », la « géographie médicale »; troublé à cause de l'emploi croissant des méthodes mathématiques, ou de l'intrusion de notions inconnues et difficiles à assimiler.

C'est à mon retour à Cambridge, en 1957, que je pris une plus vive conscience de ce problème, et de son importance pour les géographes débutants. J'entrepris ainsi, non sans hésitations, une série de cours où j'essayai d'exposer mes idées sur les aspects nouveaux de la recherche géographique, tant en ce qui concerne les concepts que la méthode. Mon collègue, Richard Chorley, m'incita à rédiger ces cours; c'est ainsi que commencèrent à émerger, de notes maintes fois feuilletées et relues, les chapitres du présent ouvrage, qui conserve la marque de ses origines. Je suis très reconnaissant à Madame Marion Clegg, qui m'a beaucoup aidé à rendre le texte lisible, et à Mademoiselle Gillian Seymour, qui a mis au point les nombreuses illustrations.

Pendant les années d'élaboration de ce livre, la recherche a continué à progresser; des synthèses importantes ont été publiées. Cet ouvrage est moins un essai achevé et longuement médité qu'un « reportage » sur une bataille en cours; il ne paraît pas possible, actuellement, de faire autre chose; peut-être faudra-t-il attendre vingt ans de plus avant de pouvoir envisager une mise en forme comparable à celle de Lösch.

Pendant mes études, j'ai toujours bénéficié de l'enseignement de maîtres exceptionnels. Autrefois, mon père m'apprit à connaître les paysages de son cher Somerset. Les finances familiales et le rationnement de l'essence nous obligeaient à suivre le précepte de Carl Sauer, selon lequel mieux vaut se déplacer lentement. Cette petite région, tout comme la Souabe natale de Lösch, semblait illustrer la plupart des grands problèmes de localisation et suggérer des réponses. Plus tard, ces premières expériences ont été enrichies par de brefs voyages à travers les paysages plus amples du Sud de l'Europe, du Brésil et de l'Ouest des États-Unis. Harold Storey m'a incité à étudier la géographie à l'Université, et à préparer Cambridge. Là, j'eus la chance d'arriver à St. Catharine's College la même année que le professeur A. A. L. Caesar, et d'étudier sous sa direction aux côtés de condisciples de talents : Michael Chisholm, Peter Hall, Gerald Manners et Ken Warren. Tout ce que nous avons écrit, y compris ce livre, porte la marque de son extraordinaire capacité d'analyse critique et d'organisation logique.

Au cours de ma carrière, mes dettes intellectuelles sont devenues de plus en plus lourdes, au point qu'il me serait impossible de mentionner tous ceux qui m'ont aidé. Mes collègues Richard Chorley et Tony Wrigley n'ont pas cessé de me conseiller et de m'encourager; sans leur exemple, le présent ouvrage aurait pu rester à l'état de projet. Je dois aussi beaucoup à David Stoddart, pour son talent à trouver des sources inattendues; à Christopher Board et David Harvey, qui ont bien voulu relire et commenter certaines parties; à Michael Chisholm et Jay Vance, qui m'ont aidé à éclaircir ma pensée sur bien des points; et à Brian Berry qui, à son séminaire de science régionale de Berkeley, en 1962, me fit saisir combien j'avais encore à apprendre sur les méthodes quantitatives.

Je dédie ce livre à ma femme, Brenda, en témoignage d'affection et de respect. Presque tout le pénible travail de rédaction a été fait à la maison; elle a su, tout en s'occupant de quatre très jeunes enfants, ménager les périodes calmes dont un mari a besoin pour affronter la machine à écrire; seuls, ceux qui ont vécu semblable expérience mesureront l'étendue de ma dette envers elle.

Peter HAGGETT.
Stapleford, Cambridgeshire. Printemps 1965.

GÉNÉRALITÉS

Tout écrit, géographique ou autre, reflète inévitablement les conceptions et l'expérience de l'auteur, et le lecteur de ce livre de géographie humaine s'en rendra compte rapidement. Par exemple, nous nous appuyons en grande partie sur des recherches menées dans le monde occidental, en particulier dans le Nord-Ouest de l'Europe et en Amérique du Nord et du Sud : ni les sources soviétiques, ni les sources africaines et asiatiques n'ont été pleinement exploitées, les premières en raison de l'obstacle linguistique et les autres à cause de la rareté relative des recherches. Mais certains résultats obtenus pour l'Afrique et l'Asie (*cf.* par exemple : Ukwu, 1965; Gunawardena, 1964) donnent à penser que les formes de localisation des phénomènes sociaux n'y sont peut-être pas fondamentalement différentes de ce qu'elles sont chez nous.

Un deuxième parti pris est manifeste dans ce livre : la prépondérance accordée à l'analyse quantitative. Ici aussi, on peut trouver une justification rationnelle : le besoin, fondamental, d'introduire plus de précision dans l'analyse géographique. Si, faisant l'histoire du développement de la géographie, on considère rétrospectivement les années 1960 comme une décennie d'« extravagance mathématique », on peut tout au moins trouver quelque réconfort dans le fait que toutes les sciences naturelles et sociales sont passées, ou passent, par une phase de ce genre (Woolf, 1961); il faut être conscient aussi bien des possibilités que des dangers de cette tendance.

Ce chapitre essaie de présenter quelques-uns des postulats fondamentaux sur lesquels sont construits les neuf autres chapitres, et qui tiennent à la nécessité de rechercher structure et ordre dans la géographie, à la nature de la géographie elle-même, aux systèmes de localisation étudiés et aux modèles créés pour les décrire, et au type d'explication employé pour interpréter les résultats.

1. A LA RECHERCHE DE L'ORDRE

La plupart des questions fondamentales de la géographie humaine n'appellent pas de réponse simple. Quand on se demande, à propos d'une région donnée, si l'habitat y est réparti selon une disposition prévisible, si les zones d'utilisation du sol y sont concentriques, si sa croissance est cyclique, la réponse dépend en grande partie du type d'ordre que l'on est disposé à chercher et à admettre. L'ordre et le chaos ne ressortent pas de la nature mais de l'esprit humain : selon le mot de Sigwart, « il y a plus d'ordre dans le monde qu'il n'y paraît à première vue ; on ne découvre cette vérité que lorsqu'on cherche cet ordre » (Hanson, 1958, p. 204). Chorley (1962) a attiré l'attention sur l'exemple donné par Postan à ce propos : si Newton, après avoir reçu la pomme sur la tête, « s'était posé la question qui va de soi : pourquoi cette pomme, parmi toutes les autres, a-t-elle choisi cet instant précis pour tomber juste sur ma tête, il aurait pu écrire l'histoire d'une pomme. Au lieu de cela, il s'est demandé pourquoi les pommes tombent, et il a créé la théorie de la gravitation. Ce n'est pas la pomme qui a décidé, c'est Newton » (Postan, 1948, p. 406).

En psychologie, des tests montrent que l'ordre est fondé, non sur la géométrie de l'objet que l'on voit, mais sur le système d'organisation dans lequel il est placé ; ceci est d'une très grande importance pour la géographie. Car la géographie, parmi toutes les sciences, a traditionnellement mis l'accent sur le fait de « voir ». Combien de fois, sur le terrain, n'a-t-on pas demandé aux géographes de « voir » un niveau d'érosion ou de « reconnaître » un type d'habitat. L'« œil qui voit », dont S. W. Wooldridge aimait à parler, fait nécessairement partie de notre équipement scientifique, car structure et ordre résident dans le fait de savoir ce qu'on doit chercher, et comment le chercher.

Les traditions exceptionnalistes en géographie

Dans ce livre, l'accent est mis sur les questions que pose l'ordre, l'ordre des localisations étudiées par la géographie humaine. La première partie présente les composantes de l'organisation de l'espace géographique : mouvements, réseaux, nœuds, hiérarchies et surfaces ; la seconde partie expose les méthodes et les techniques d'analyse. Cette approche s'écarte sensiblement de la démarche traditionnelle de la géographie humaine (Brunhes, 1925 ; Vidal de la Blache, 1922), préoccupée de poser des questions de nature biographique sur les phénomènes observés. En effet, après avoir examiné, de façon très approfondie, l'évolution historique de cette discipline, Hartshorne constate, dans son ouvrage classique, *The Nature of Geography*, qu'« il n'est nécessaire d'élaborer aucune proposition universelle, sinon cette loi générale de la géographie que chaque région est unique » (Hartshorne, 1939, p. 468). Ce concept d'unicité, que la géographie partage avec l'histoire, exerce une forte emprise sur l'enseignement de la géographie, à tous les niveaux ; il installe inévitablement dans l'esprit des étudiants la conviction que la région A doit absolument être différente de la région B.

Huckleberry Finn partageait cette conviction. Au cours d'une de ses escapades en bateau volant, il s'écrie : « Nous sommes juste au-dessus de l'Illinois... l'Illinois est vert, l'Indiana est rose... C'est vrai, je l'ai vu sur la carte : il est rose » (Twain, 1896, chap. 3). L'explication que Tom Sawyer donne patiemment du travail du géographe : « ... il doit les colorier pour que tu puisses les distinguer dès que tu les regardes, n'est-ce pas? », semble résumer le rôle traditionnel de l'analyse géographique : différencier la surface de la terre, y faire un tri et la diviser en secteurs de caractéristiques « semblables ». Quelques-unes des méthodes utilisées pour opérer cette différenciation sont exposées au chapitre 9.

Ce concept de différenciation a conduit à l'élaboration des grandes synthèses régionales qui ont assuré la position actuelle de la géographie dans le monde universitaire. Les ouvrages classiques — ceux de Vidal de la Blache sur *La France de l'Est* (1917), de Carl Sauer sur les Ozarks (1920), d'Isaiah Bowman sur les Andes du Pérou méridional (1916), ou de Robert Gradmann sur le Sud de l'Allemagne (1931) — font partie d'un patrimoine de monographies régionales où se combinent la finesse des observations et le talent littéraire. Notre thèse n'est pas que de telles études ont été mal orientées, mais que leur réussite même a conduit les géographes à négliger les études comparatives, tout aussi nécessaires. La différenciation régionale a dominé la géographie trop exclusivement, aux dépens de l'intégration spatiale.

Pour des raisons métaphysiques, Schaefer (1953) et Bunge (1962) ont trouvé peu satisfaisante l'approche fondée sur l'« unicité ». Tous deux, en accord avec Postan, avancent l'idée que l'unicité est un point de vue, et non une propriété inhérente aux régions. Bunge (1962, pp. 7-13) va plus loin, en soutenant qu'il n'existe aucun compromis possible sur la question de l'unicité. Soit l'exemple banal de deux bâtons de craie blanche, que l'on imagine placés sur un pupitre. Examinés de près, ils n'apparaissent pas exactement identiques. Donc les qualifier tous deux de « bâtons de craie blanche » est sûrement une erreur. Pour être exact, il faudrait identifier chaque bâton par une appellation unique; mais, en pratique, on affecte ces deux objets à une même classe appelée « craie blanche ». Agir autrement, c'est abandonner tous les termes descriptifs, et être réduit à dire, selon le mot de Bunge : « les choses sont ainsi ». Une telle démission intellectuelle est inacceptable; aussi bien dans la vie quotidienne que dans la réflexion scientifique, nous classons constamment des phénomènes uniques. Ce qu'on gagne par ces classements peut l'emporter ou non sur ce qu'on perd en précision; la science invente constamment des catégories nouvelles, plus efficaces : tentative sans fin de diviser la réalité et de l'étiq-uer de manière de plus en plus précise.

Quand on s'intéresse à l'« unique », on ne peut guère que contempler son unicité. D'où la situation actuelle, peu satisfaisante : les recherches systématiques (générales) et la géographie régionale, fondée sur l'idée d'unicité, collaborent difficilement. Bunge fait fi de tout compromis de ce genre; pour lui, la géographie générale doit se mouvoir dans les sphères de la théorie, et la géographie régionale s'orienter vers les études génériques, et ne plus reposer sur l'idée d'unicité. Selon le mot de Schaefer, la géographie régionale doit devenir la partie expérimentale d'un domaine essentiellement théorique.

Échelle et théorie

La validité de la conception monographique est liée à l'échelle de l'analyse régionale. Il existe évidemment des limites absolues à la taille de la terre elle-même; autrement dit, la « population » géographique (chap. 7, section 1) est finie. A la limite, par conséquent, l'étude du monde doit nécessairement s'intéresser à l'« unique », puisque le monde est tiré d'une population d'un seul individu! Par contre, l'étude « régionale » d'un petit village peut s'appliquer à un nombre de cas excédant certainement le million.

Certains aspects de ce qu'impliquent ces changements de taille sont indiqués sur la figure 1.1. Sur le plan horizontal sont représentés deux faits logiquement concomitants du changement d'échelle : l'augmentation du nombre des cas potentiels et la diminution de leur complexité, à mesure que les régions deviennent plus petites.

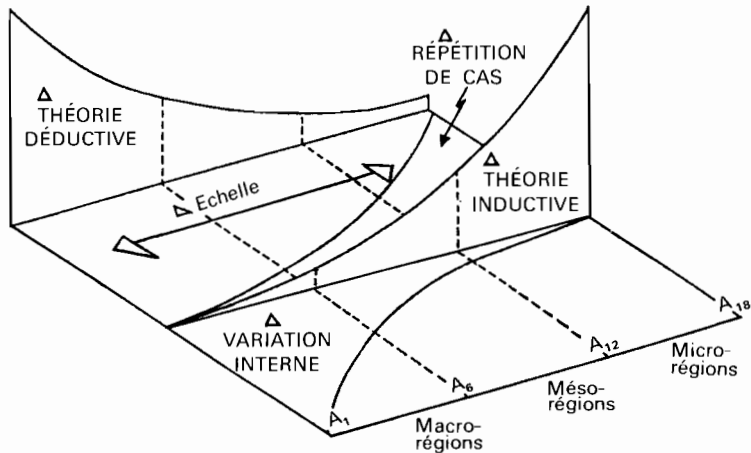


Fig. 1.1 — Ce qu'implique l'échelle pour l'analyse géographique.

Source : HAGGETT et CHORLEY, in CHORLEY et HAGGETT, 1965-A, p. 367.

Ces variations, à leur tour, entraînent les changements représentés sur le plan vertical : la comparabilité augmente, les cas se multiplient et par conséquent les résultats deviennent de plus en plus significatifs à mesure que les régions deviennent plus petites; au contraire, lorsque les régions deviennent plus grandes, il y a moins de cas à comparer, et les explications doivent, de plus en plus, reposer sur des analogies externes.

L'étude des groupements de population, faite à l'échelle mondiale (Nord-Ouest de l'Europe, Inde, etc.), a été caractérisée par l'application, assez spéculative, de modèles climatiques ou historiques (Spate, 1952), en même temps que par la diversité des

interprétations. A l'inverse, l'étude des groupements urbains (ici, les cas potentiels sont nombreux) a été caractérisée par l'observation comparative et par l'application de modèles de peuplement inductifs (Christaller, 1933), en même temps que par une moindre diversité d'interprétations. Notre confiance dans les causalités externes pour expliquer des caractéristiques macro-régionales peut s'opposer à ce qui se passe pour les régions plus petites; dans leur cas, il apparaît sans aucun doute que la géographie se suffit davantage à elle-même, tant dans ses aspects physiques qu'humains. La persistance des effets d'échelle et le problème que pose le besoin de se référer, pour des régions de tailles différentes, à une unité de mesure commune donnent à penser qu'un étalon de comparaison pourrait être utile dans toutes les situations (Chorley et Haggett, 1965, chap. 18).

Les géographes s'intéressent à des sujets d'étude dont la taille va de celle des continents (environ 1 à 10 millions de miles carrés) à celle des communes (environ 1 à 10 miles carrés) et même à celle d'unités encore plus petites; bien qu'on ait abandonné une grande partie des anciennes unités de surface, les différences entre les quatre unités traditionnelles (miles carrés, kilomètres carrés, acres et hectares) sont assez grandes pour rendre difficiles les comparaisons. Certes, on peut en pratique utiliser des étalons naturels traditionnels (par exemple, 1 million d'acres équivaut à la surface du comté de Somerset; 100 000 miles carrés équivalent à la surface de l'État du Colorado, et ainsi de suite); ou bien on peut convertir rapidement les différentes unités, au moyen de tables (Amiran et Schick, 1961), mais cette méthode reste peu commode et difficile.

Un diagramme linéaire publié par Brillouin (1964, p. 85) donne, en valeurs vraies, une idée de l'éventail des sujets auxquels s'intéresse la recherche géographique (fig. 1.2 C). Ce diagramme consiste en une échelle logarithmique qui va de 10^{30} à 10^{-50} cm; il inclut la distance la plus grande et la distance la plus petite que l'on ait mesurées jusqu'ici (soit, respectivement, environ 10^{27} et 10^{-13} cm). A l'intérieur de cette gamme, la partie à laquelle s'intéressent les géographes occupe une position médiane, qui va de $4,01 \times 10^9$ cm (la circonférence de la terre) à 10^3 cm environ. Une question se pose : peut-on utiliser des unités réelles quelconques pour définir l'éventail des sujets auxquels s'intéresse la géographie, et pour remplacer les unités traditionnelles, arbitraires, actuellement en usage? Brillouin (1964, p. 32) a avancé l'idée que l'on pourrait utiliser comme base une distance linéaire minimale réelle (le *fantometer*) définie pratiquement comme étant la distance en deçà de laquelle aucune onde ou aucun autre moyen de mesure n'existe, qui pourrait être employé comme étalon. Aussi adéquat que puisse être cet étalon naturel pour les sciences physiques, il y a là une bonne occasion de considérer une unité également fondamentale — *la surface de la terre* — comme l'étalon naturel approprié à la mesure en géographie.

Haggett, Chorley et Stoddart (1965) ont proposé un étalon de mesure géographique fondé sur la surface de la terre (G_a), et une échelle de mesure (l'échelle G), obtenue en divisant cette surface-étalon, successivement, par les puissances de 10. Le tableau 1.1 montre la progression générale des valeurs de G , tandis que la figure 1.2 représente la relation entre l'échelle G et les étalons traditionnels de mesure des surfaces.

TABLEAU 1.1
CALCUL DES VALEURS DE G

Valeurs de G	Divisions de la surface de la terre (G_a)	Surface en miles carrés
0	G_a	$1,968 \cdot 10^8$
1	$G_a (10)^{-1}$	$1,968 \cdot 10^7$
2	$G_a (10)^{-2}$	$1,968 \cdot 10^6$
3	$G_a (10)^{-3}$	$1,968 \cdot 10^5$
n	$G_a (10)^{-n}$	$1,968 \cdot 10^{(8-n)}$

Source : P. HAGGETT, R. J. CHORLEY et D. R. STODDART, 1965, p. 846.

La valeur de G peut être obtenue par application de la formule générale :

$$G = \log (G_a/R_a)$$

dans laquelle G_a (la surface de la terre) et R_a (la surface de la région étudiée) sont mesurées avec la même unité de surface (l'acre, par exemple). En pratique, il est plus commode de calculer la valeur de G en soustrayant le logarithme de la surface de la terre. Le tableau 1.2 donne les constantes correspondant aux quatre unités de surface habituellement employées.

TABLEAU 1.2
CALCUL DES VALEURS DE G CORRESPONDANT
AUX UNITÉS DE SURFACE COURANTES

Unités de surface traditionnelles	Formule convenant au calcul de G
Miles carrés	$8,2941 - \log R_a$ (mile ²)
Kilomètres carrés	$8,7074 - \log R_a$ (km ²)
Acres	$11,1003 - \log R_a$ (acre)
Hectares	$10,7074 - \log R_a$ (ha)

Source : *Ibid.*, p. 846.

L'avantage de l'échelle G , en tant que système de référence géographique, provient de quatre caractéristiques : 1° elle emploie un étalon naturel, la surface de la terre, de préférence aux étalons arbitraires existants; 2° du fait qu'elle est logarithmique, elle réduit une très vaste étendue de valeurs à une échelle simple, qui va par exemple de 0 (la terre) à 10 (approximativement, la surface de Trafalgar Square) et même à des unités plus petites; 3° elle permet de comparer facilement l'importance relative

des surfaces, en ce sens que des régions dont les surfaces sont dans un rapport de 1 à 10 ont sur l'échelle G des valeurs différant d'une unité, des régions dont les surfaces sont dans un rapport de 1 à 100 ont sur l'échelle G des valeurs différant de 2 unités, et ainsi de suite; 4° elle simplifie la situation actuelle, rendue confuse par la diversité des étalons traditionnels (fig. 1.2 B), et lui substitue une échelle plus simple de valeurs naturelles (fig. 1.2 D).

L'application de l'échelle G aux aires géographiques existantes fait apparaître quelques résultats intéressants (fig. 1.2 D). Les valeurs obtenues pour les continents vont de $G = 1,06$ à $G = 1,83$; elles aident à rectifier certaines idées fausses que l'on se fait de leur taille, tant à cause de la projection de Mercator que par suite de leur accessibilité relative (*cf.* par exemple l'observation de Hågerstrand selon laquelle on sous-estime la taille des régions « éloignées », tandis qu'on exagère la taille relative des régions proches). Il existe cependant des implications plus fondamentales concernant dans son ensemble le caractère propre de la recherche géographique.

Une comparaison (fig. 1.3) entre deux études régionales importantes fait apparaître l'une des nombreuses potentialités que présente l'échelle G en matière d'illustration et même d'analyse. L'étude de Broek (1932) sur la vallée de Santa Clara (Californie) apparaît ici (fig. 1.3 A) sous la forme suivante : trois périodes historiques, significatives pour cette région, sont reliées par de courts segments structuraux; pour ces périodes, les aspects physiques et économiques de l'aire étudiée sont articulés de façon à constituer une étude vraiment régionale. Bien que l'auteur donne quelques informations à l'échelle du ranch, l'échelle spatiale de l'étude, pour toutes les périodes historiques, est essentiellement celle de la vallée de Santa Clara, soit 600 miles carrés ($G = 5,52$). Ceci contraste avec l'étude classique de Vidal de la Blache sur la France de l'Est (1917) représentée de la même manière sur la figure 1.3 B. Ici, dans les limites définies par les deux coupures que constituent la révolution agricole du Néolithique et la révolution industrielle en France, la région d'Alsace-Lorraine est étudiée dans le cadre d'un *continuum* temporel. Passant, dans cette étude bien équilibrée, de cette échelle ($G = 4,12$) au niveau, inférieur, du département ($G \neq 6$), Vidal de la Blache intègre les aspects physiques et humains de l'Est de la France, en mettant l'accent plus fortement que Broek sur l'aspect sociologique.

La question de savoir si ces différences de taille des régions ont une signification plus profonde est à débattre, mais il est peut-être intéressant de noter que les différences de dimension sont d'une importance capitale en physique classique, où des variations d'une seule dimension (par exemple la longueur) peuvent être associées à des variations disproportionnées de surface, de masse, de viscosité, et ainsi de suite. Ces problèmes de « similitude » ont aussi une importance cruciale en biologie; dans ce domaine, D'Arcy Thompson (1917) consacre une part considérable de son ouvrage *On Growth and Form* à étudier la question de la taille dans le dessin des formes zoologiques et botaniques. Étant donné que les géographes font appel, de plus en plus, à des modèles physiques et à leurs dérivés en biologie, ils devront être de plus en plus conscients des dangers que présentent les « anachronismes spatiaux ou dimensionnels », s'il est permis d'employer cette expression. Pour conserver les principes de similitude propres aux « modèles de gravitation » utilisés en géographie économique

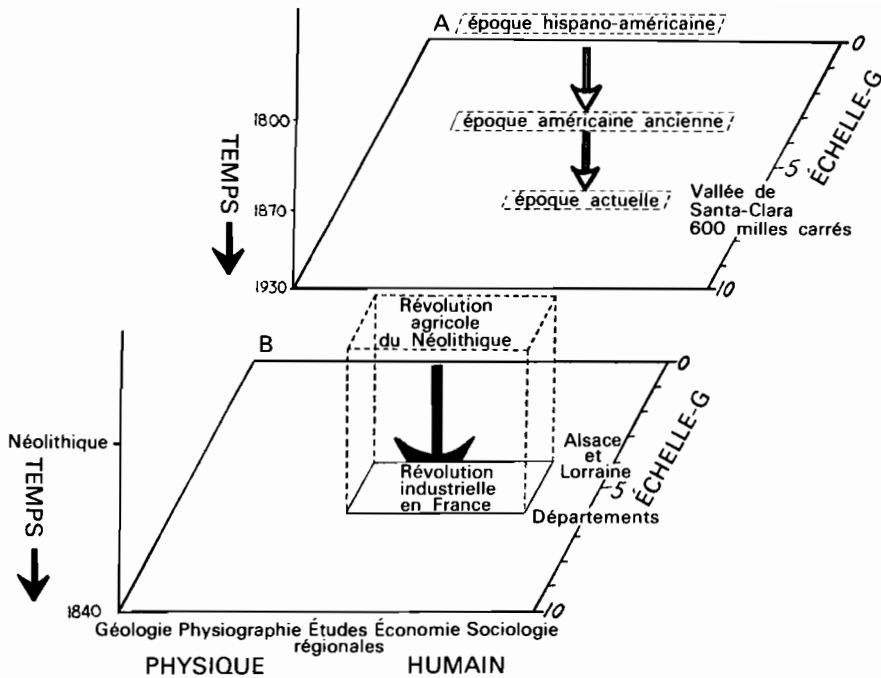


Fig. 1.3 — Comparaison des études régionales de Broek (1932) et de Vidal de la Blache (1917) rapportées à l'échelle G, à la gamme des questions traitées et à la longueur de la période envisagée.

Source : HAGGETT, CHORLEY et STODDART, 1965, p. 846.

(chap. 2, section 2), il est peut-être nécessaire de repenser, à des niveaux spatiaux différents, les mesures de distances (longueurs), de limites (périmètres), de populations (masses) introduites dans ces modèles.

2. LA GÉOGRAPHIE

La géographie a longtemps été une épine dans le pied des responsables scolaires et universitaires. Sa place naturelle est-elle dans la section scientifique ou dans la section littéraire de l'enseignement secondaire? De même, au niveau des universités, elle a été classée de façons diverses : soit comme une « science de la terre » (à Cambridge, elle fait partie de la faculté de Géographie et de Géologie, qui comprend la géophysique, la minéralogie et la pétrographie), soit comme une « science sociale » (il en est ainsi dans la plupart des universités des États-Unis), soit, moins couramment, comme une « science géométrique », situation qu'elle occupait au temps des Grecs et que des chercheurs, en particulier les membres du groupe interuniversitaire de géographes mathématiciens du Michigan, aimeraient rétablir.

« Situer » la géographie dans la structure formelle de l'enseignement est difficile en raison : 1° de la pluralité des conceptions de la géographie dans le passé; 2° du débat actuel sur le domaine propre de la géographie.

Les conceptions de la géographie

Certains géographes ou groupes de géographes ont eu des conceptions différentes du domaine de la géographie, aux divers stades de son évolution. Le point de vue le plus largement adopté est probablement celui qui, selon Hartshorne, caractérise l'attitude traditionnelle des géographes : la différenciation de l'espace. Il existe cependant un certain nombre de « déviations » par rapport à ce point de vue : la géographie conçue comme science de la surface de la terre, la géographie conçue comme étude des relations entre l'homme et le milieu naturel, et la géographie conçue comme étude de la localisation des phénomènes à la surface de la terre. Ces trois grandes tendances sont appelées ici l'école du paysage, l'école écologique et l'école de la localisation.

LA DIFFÉRENCIATION DE L'ESPACE

La géographie a une existence distincte et identifiable, en tant que matière d'enseignement, depuis plus de deux mille ans. Même avant que les Grecs l'aient introduite explicitement dans l'enseignement, la curiosité fondamentale de l'homme, qui veut savoir ce qu'il y a « derrière la montagne », l'a nécessairement conduit à transmettre ses expériences et ses hypothèses sur la forme de la surface de la terre. L'élargissement ultérieur des connaissances à l'époque des grandes découvertes, l'essor des grandes sociétés d'exploration au XIX^e siècle (Royal Geographical Society fondée à Londres en 1833, sociétés semblables créées à Paris, Berlin et New York), l'accent mis actuellement sur les techniques d'enquête rapides et précises, sont autant de manifestations d'un besoin profond : organiser la connaissance de la surface de la terre. Hartshorne a énoncé de façon explicite ce rôle historique dans la définition suivante : « La géographie a pour tâche de donner une description et une interprétation précises, ordonnées et rationnelles du caractère variable de la surface de la terre » (Hartshorne, 1959, p. 21). Hartshorne soutient que, pour accomplir cette tâche considérable, les géographes s'intéressent avant tout à la définition de régions (*region construction*), à ce qu'il appelle la *différenciation spatiale* de la surface de la terre (*cf. supra*, pp. 12-13).

Il n'est guère douteux que la définition de Hartshorne représente l'un des communs dénominateurs de la plupart des travaux géographiques, depuis les Grecs. Mais l'un des plus intéressants parmi les débats qui se déroulent actuellement dans le monde de la géographie ne porte pas sur l'exactitude du point de vue de Hartshorne à propos de la nature de la géographie dans le passé; il s'agit plutôt de savoir si ce passé doit orienter l'avenir de la géographie. Pour Hartshorne, c'est seulement en soumettant nos tendances personnelles à l'acquis considérable de la géographie depuis des siècles que nous pourrions parvenir à une conception équilibrée et cohérente : « Si nous voulons ne pas perdre la piste, ... nous devons d'abord regarder derrière nous, pour voir dans quelle direction la piste a conduit » (Hartshorne, 1939, p. 31). Par la critique des textes, il a montré l'ampleur des variations des points de vue exprimés par les spécialistes et la nécessité de distinguer ce que les géographes prétendaient faire de ce qu'ils faisaient effectivement.

La contestation la plus vive de ce point de vue est venue de Bunge (1962), qui a essayé de déduire logiquement la nature de la géographie d'une série de postulats. Comme Lösch (1954), Bunge s'intéresse à ce qui devrait être plutôt qu'à ce qui est. Dans son approche, il ignore volontairement ce qu'ont affirmé les grands géographes du passé, car « les grands hommes du passé pourraient maintenant, au vu de ce qui s'est passé plus récemment, avoir des opinions différentes de celles qu'ils professaient » (Bunge, 1962, p. 1). En fait, ni Hartshorne ni Bunge ne s'en tiennent à la démarche inductive ou à la démarche déductive dans toute leur pureté; chacun poursuit sa recherche en se référant à des exemples concrets ou à des arguments logiques.

L'ÉCOLE DU PAYSAGE

Le concept de « paysage » (en anglais : *landscape*) a été longtemps rendu confus par les deux significations que les Allemands, dans l'usage courant, attachent au terme, en apparence correspondant, de *Landschaft*. La pensée de cette école s'est inspirée en grande partie d'ouvrages allemands, et une confusion semble avoir résulté de l'emploi du mot *Landschaft*, qui signifie soit le paysage (*landscape*), au sens d'aspect général d'une partie de la surface visible de la terre, soit une région (en anglais : *region*) limitée de la surface de la terre. Dans la première acception, les termes *Landschaft* et paysage (*landscape*) sont synonymes; dans la seconde, le terme qui convient pour traduire *Landschaft* est région (*region*). Hartshorne (1939, pp. 149-158) a habilement mis à jour l'existence de cette confusion dans les publications allemandes — par exemple les différents usages du même terme par Passarge et par Schlüter — et le transfert inévitable d'une partie de cette confusion dans les publications américaines, en particulier par l'intermédiaire de l'important essai de Carl Sauer sur la morphologie du paysage (« *The Morphology of Landscape* », 1925).

Sauer soutenait qu'il est possible d'analyser un paysage en deux composantes distinctes : le « paysage naturel » (*natural landscape, Urlandschaft*), et le « paysage culturel » (*cultural landscape, Kulturlandschaft*). Par paysage naturel, il entendait le paysage originel, antérieur à l'entrée en scène de l'homme; par paysage culturel, le paysage transformé par l'homme. L'essai de Sauer a eu pour résultat principal d'appliquer à l'étude du paysage culturel les méthodes morphologiques, si fécondes dans l'analyse du paysage naturel; cet enseignement a été repris par Miller (1949). Avant l'essai de Sauer (1925), le rôle de l'homme comme agent morphologique avait déjà été reconnu, notamment par George Perkins Marsh (1864), mais c'est au sein de l'« école de Berkeley » (dont Clark a parlé dans : James, Jones et Wright, 1954, p. 86) que Sauer a rassemblé un groupe de spécialistes qui, comme Broek (*The Santa Clara Valley*, 1932), ont organisé leurs travaux autour du thème de l'évolution du paysage. L'ouvrage *Man's Role in Changing the Earth* (Thomas, 1956), compte rendu d'un symposium international dans lequel Sauer a joué un rôle essentiel, donne l'image la plus nette de la force et de la vitalité de ce thème important dans le développement de la géographie humaine.

GÉNÉRALITÉS

L'ÉCOLE ÉCOLOGIQUE

La conception de la géographie comme étude des relations entre la terre et l'homme a longtemps occupé une position centrale, aussi bien dans l'enseignement secondaire que dans l'enseignement supérieur, en Angleterre. Paradoxalement, cette conception est née dans un pays — l'Allemagne — où elle n'a joué par la suite qu'un rôle mineur dans le développement de la pensée géographique. Les conceptions de Ratzel sur l'« anthropogéographie » paraissent avoir eu une influence, indirecte mais forte, sur le Français Vidal de la Blache et, plus encore, sur l'Américaine Ellen Semple. L'ouvrage de cette dernière, *Influences of Geographical Environment* (1911), a contribué de façon décisive à répandre dans tout le monde anglophone l'idée que l'étude des « influences géographiques » est un but essentiel de la recherche géographique.

Une tendance distincte et moins extrémiste de cette école du milieu (*environmental school*) s'est développée autour de H. H. Barrows, à l'université de Chicago. Cet auteur considère la géographie comme une « écologie humaine » (Barrows, 1923), une discipline d'où la géographie physique est en grande partie éliminée : la géographie devient une science sociale qui s'intéresse aux relations entre les sociétés humaines et le milieu physique (*physical environment*). Hartshorne (1939, p. 123) avance l'idée que, selon cette conception, la géographie se situe par rapport aux sciences sociales exactement de même que l'écologie botanique par rapport aux sciences biologiques. Il est certain que la ligne de démarcation entre cette conception de la géographie humaine et les travaux de sociologues comme MacKenzie (1933) et Hawley (1950) est bien fragile; des recueils d'articles consacrés à l'écologie humaine (comme celui publié sous la direction de Theodorson en 1961) contiennent des contributions aussi bien de sociologues que de géographes. Pahl (*in* Chorley et Haggett, 1965, chap. 5) a montré la convergence des axes de pensée des sociologues et des géographes en Grande-Bretagne, et Stoddart (1965) a noté combien est répandue, en géographie, l'application des concepts bio-écologiques (par exemple le concept d'écosystème).

C'est peut-être en France, cependant, que la conception écologique de la géographie humaine a eu le plus d'influence. Deux des ouvrages les plus déterminants qui aient été publiés jusqu'à présent sur la géographie humaine, *La Géographie humaine* de Jean Brunhes (1925) et les *Principes de géographie humaine* de Vidal de la Blache (1922), centrent sur les relations entre l'homme et le milieu l'étude des « faits essentiels » de l'occupation de la surface de la terre par l'homme; Max. Sorre, dans ses *Fondements de la géographie humaine* (1947-1952, 1961), a suivi la même tendance. La minutie avec laquelle ces trois savants ont traité un grand nombre d'exemples régionaux et leur conception philosophique générale de l'homme comme élément d'un ensemble fortement articulé, le milieu, permettent de les considérer comme les pierres angulaires sur lesquelles s'est édifiée en grande partie la géographie humaine.

L'ÉCOLE DE LA LOCALISATION

Le point de vue selon lequel la géographie est essentiellement une science de la répartition est un troisième thème sur lequel on revient souvent. Bunge (1962, 1964)

a récemment mis l'accent sur la forte dépendance de la géographie à l'égard des concepts de la géométrie et de la topologie; mais il y a déjà près d'un siècle que Marthe (1878) a défini le domaine de la géographie comme l'étude de la question : « où sont les choses ? ». Il est certain que la polarisation de l'intérêt sur la localisation et la répartition est la marque de tout écrit géographique; ce thème revient souvent dans les exposés méthodologiques (cf. par exemple de Geer, 1923) et les articles liminaires (cf. par exemple Watson, 1955).

Toutefois, le courant le plus puissant de la « théorie » de la localisation est issu davantage de l'économie que de la géographie humaine. Les deux premiers classiques de la théorie de la localisation, les ouvrages de von Thünen (1875) sur la localisation en agriculture et de Weber (1909) sur la localisation dans l'industrie, étaient essentiellement consacrés à la localisation des phénomènes économiques; ceux qui ont fait des recherches à la même époque ou plus tard, comme Launhardt, Predöhl, Ohlin, Palander, Hoover, Lösch et Isard, ont visé surtout à « améliorer les cadres spatiaux et régionaux des sciences sociales, spécialement de l'économie » (Isard, 1956, p. VIII). Néanmoins, les excellentes mises au point, sur ce thème, des spécialistes anglo-saxons (Hoover, 1948; Isard, 1956), allemands (Boustedt et Ranz, 1957) et français (Ponsard, 1955), ont encouragé les géographes à appliquer, élaborer et affiner les concepts spatiaux. L'ouvrage de Bunge, *Theoretical Geography* (1962) montre jusqu'où est allée cette influence.

Reconnaître ce rôle fondamental des concepts liés à la localisation en géographie humaine n'est pas diminuer son importance pour les sciences systématiques. Des ouvrages comme l'*Atlas of the British Flora* (Perring et Walters, 1962) ou le *National Atlas of Disease Mortality in the United Kingdom* (Howe, 1963) montrent l'importance des études de répartition pour deux disciplines systématiques, la botanique et la médecine. Hettner a vu clairement les dangers qu'il y aurait à considérer la localisation comme un concept exclusivement géographique : « La distribution d'après l'emplacement constitue une propriété de tout objet ... on doit donc toujours en tenir compte dans la recherche et dans l'exposition des résultats » (Hettner, 1905; cité par Hartshorne, 1939, p. 127). La liaison simple et apparemment satisfaisante entre l'histoire, étude du « quand », et la géographie, étude du « où », ne rend pleinement justice ni à l'une ni à l'autre discipline.

Essai d'intégration par la théorie des ensembles

On peut mettre sur le même plan la diversité des points de vue en géographie et les diversités semblables existant dans d'autres disciplines. En économie aussi, les conceptions classificatoire et fonctionnaliste (Robbins, 1935) ont suscité bien des débats, et la conclusion désabusée de Vining : « l'économie, c'est ce que font les économistes », rend un son familier aux oreilles des géographes. Cependant, le désir de codifier et d'intégrer les divers points de vue demeure; nous allons essayer, en utilisant la théorie des ensembles à son stade élémentaire, d'intégrer au moins quelques-unes des diverses écoles géographiques.

GÉNÉRALITÉS

Chacun des trois groupes de sciences dans lesquels la géographie a été placée (cf. p. 19) peut être considéré comme un *ensemble*, et chaque discipline distincte comme un *élément* de cet ensemble. Trois ensembles peuvent être définis : celui des sciences de la terre (α), celui des sciences sociales (β) et celui des sciences géométriques (γ). A l'ensemble α appartiennent la géographie (1), la géologie (2) et d'autres sciences de la terre; ce qu'on peut écrire ainsi :

$$\alpha = \{1, 2\}$$

On peut définir de même les deux autres ensembles :

$$\beta = \{1, 3\}$$

$$\gamma = \{1, 4\}$$

3 étant la démographie et les autres sciences sociales, 4 étant la topologie et les autres sciences géométriques; une représentation graphique à l'aide des diagrammes de Venn est donnée par la figure 1.4 A.

On peut aussi représenter les relations existant entre deux ensembles quelconques en faisant se chevaucher les diagrammes. Ainsi, la géographie appartient par définition aux deux ensembles α et β ; sa position est indiquée dans la partie en grisé de la figure 1.4 B. Le chevauchement par paires des trois ensembles montre aussi que la conception de la géographie comme écologie humaine (« l'homme en relation avec son milieu ») (5) se situe là où se chevauchent les ensembles α et β , la géomorphologie (6) et la cartographie et la topographie (7) là où se chevauchent les ensembles α et γ , et l'analyse des localisations (8) là où se chevauchent les ensembles β et γ . On peut noter ainsi ces intersections :

$$\alpha \cap \beta = \{1, 5\}$$

$$\alpha \cap \gamma = \{1, 6, 7\}$$

$$\beta \cap \gamma = \{1, 8\}$$

Des relations plus complexes entre les trois ensembles sont représentées sur la figure 1.4 C, la géographie (1) occupant la position centrale, à l'intersection des trois ensembles; autrement dit :

$$\alpha \cap \beta \cap \gamma = \{1\}$$

tandis que les disciplines apparentées, géomorphologie, écologie humaine, cartographie et topographie, analyse des localisations occupent les intersections de deux ensembles entourant l'intersection de trois ensembles.

Ce type d'analyse n'est pas présenté ici comme capable de résoudre les problèmes de définition de la géographie; l'analyse ci-dessus, si elle est correcte, indique seulement pourquoi il est si difficile de « situer » la géographie, ou de la définir simplement. La définir comme « étude de la surface de la terre », ou comme « étude de l'homme en relation avec son milieu », ou comme « science de la répartition », ou

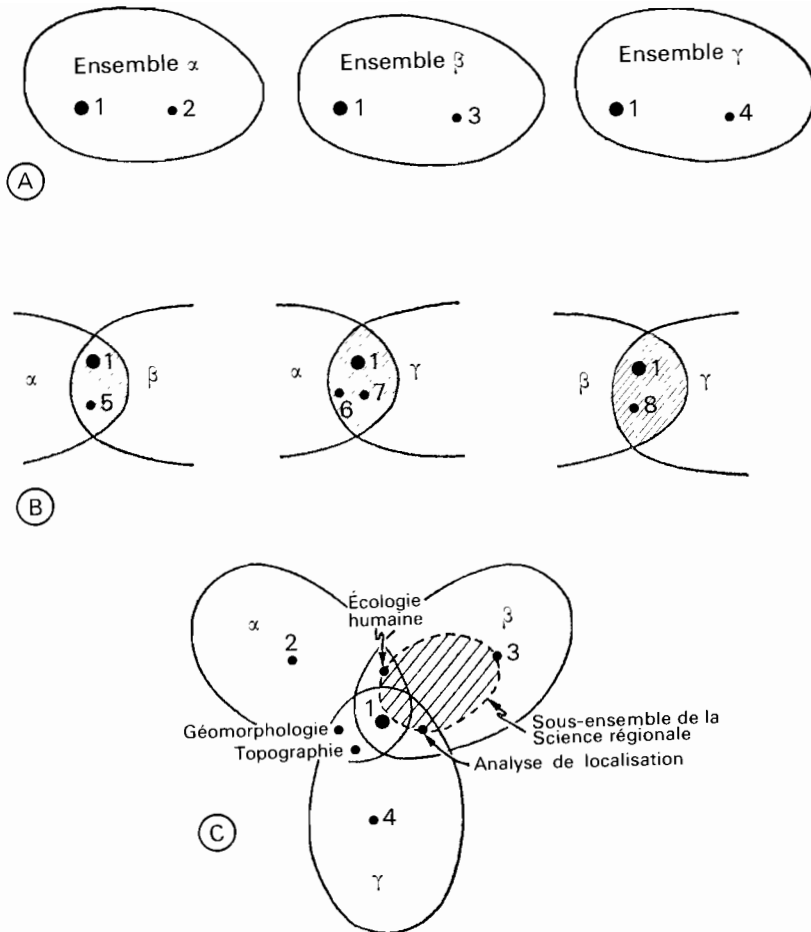


Fig. 1.4 — Essai de définition de la géographie dans le langage de la théorie des ensembles : A. Ensembles primitifs. — B. Intersections des ensembles pris deux par deux. — C. Intersection des trois ensembles.

comme « étude de la différenciation de l'espace », permet seulement de saisir une part de sa complexité réelle. La géographie ne se définit pas uniquement par référence à ce qu'elle étudie ou à la façon dont elle l'étudie, mais par l'intersection de ces deux points de vue. C'est ce que Sauer (1952, p. 1) a appelé « curiosité convergente » et qui a produit des techniques, des traditions et des œuvres originales.

L'abandon de l'esprit géométrique en géographie

Actuellement, la tradition géométrique est probablement la plus faible des trois tendances représentées sur la figure 1.4; pourtant, elle était à la base de la conception

que les Grecs avaient de la discipline géographique, et les tentatives les plus réussies de construction de modèles géographiques procèdent en grande partie de ce type d'analyse. La géométrie des hexagones de Christaller, celle des courbes littorales de Lewis, celle des surfaces d'érosion de Wooldridge, celle des ondes de diffusion de Hägerstrand, celle des projections de Breisemeister, s'imposent à l'esprit. D'un certain point de vue, une grande partie des travaux statistiques relatifs à l'analyse de régression (cf. pp. 327-333), et aux surfaces généralisées (cf. pp. 303-309) représente seulement des géométries plus abstraites. Les travaux géographiques les plus passionnants des années 1960 résultent en grande partie d'applications de géométries de niveau élevé; par exemple, l'application de la géométrie multidimensionnelle aux modèles d'habitat (Dacey, 1964), et l'application de la théorie des graphes et de la topologie à l'analyse des réseaux (Kansky, 1963). Quand on réfléchit à l'histoire de la géographie, il est intéressant de noter que la séparation, de plus en plus marquée, entre la géomorphologie et la géographie humaine s'est peut-être produite juste au moment où chacune a le plus à offrir à l'autre. Dans son article « The Morphology of Landscape », Sauer (1925) a établi des parallèles fondamentaux entre l'une et l'autre; malheureusement, comme Board (Chorley et Haggett, 1965, chap. 10) l'a montré si clairement, ceux qui se sont inspirés de cet article important de Sauer ont tenu compte de « paysage » et négligé « morphologie ». La surface topographique n'est que l'une des nombreuses surfaces à trois dimensions que les géographes analysent, et aucune raison fondamentale n'empêche par exemple d'employer des procédés très semblables pour analyser le relief et les surfaces de densité de population (chap. 6, section 1). Non seulement la géométrie offre une chance de souder les différents aspects de la géographie humaine et de la géographie physique en une association nouvelle et efficace, mais elle redonne à la cartographie un rôle central par rapport à l'une et à l'autre.

Science régionale et géographie

La position d'une discipline récente, la « science régionale », dont les connexions sont vigoureuses avec les études de localisation, la géographie, l'écologie humaine et les sciences sociales (notamment l'économie) est représentée sur la figure 1.4 C par une zone en grisé. Les études régionales ont prospéré en Amérique du Nord depuis la seconde guerre mondiale. Selon une enquête récente (Perloff, 1957), environ 140 universités des États-Unis ont établi des programmes d'études régionales, tandis que deux nouvelles institutions, la Regional Science Association et Resources for the Future, ont donné à la recherche régionale une ampleur nouvelle. En Grande-Bretagne, les comités Hayter et Parry, qui s'intéressent à l'étude de l'Afrique, de l'Asie et de l'Amérique latine, ont fondé de nouveaux centres de recherche régionale, tel celui de Cambridge, consacré à l'Asie méridionale.

Ces études régionales traitent de nombreuses questions et intéressent plusieurs disciplines universitaires; mais c'est la science économique, plus précisément l'économétrie, qui a pris le rôle prééminent. Le premier manuel important de science régionale, *Methods of Regional Analysis* (Isard, Bramhall, Carrothers, Cumberland,

Moses, Price et Schooler, 1960), est essentiellement consacré aux régions *économiques*. Les auteurs considèrent que le problème principal est le comportement économique d'une région (p. 413) : de quelles activités a-t-elle besoin pour que soient atténuées les fluctuations de l'emploi; comment peut-elle tirer le meilleur parti de ses ressources naturelles, qui sont souvent maigres? Des questions de ce genre attirent fortement l'attention sur le développement économique; Fisher (1955, p. 6) a résumé cette façon de voir en ces mots : « la région la plus utile ... est ce qu'on pourrait appeler la région de développement économique ».

L'intérêt que les économistes portent actuellement aux régions constitue-t-il une déviation durable, ou bien est-ce qu'à l'avenir « l'économie régionale peut devenir de plus en plus difficile à distinguer du reste de l'économie »? (Meyer, 1963, p. 48). Cette question reste posée. Quelle que soit, à long terme, l'importance de cette tendance pour l'économie, son effet sur la géographie a été celui d'un catalyseur. Les spécialistes de géographie économique et de géographie régionale ont été, soit soumis à l'influence des publications des économistes, soit incités à participer à des recherches régionales interdisciplinaires d'un niveau très élevé. Comme l'indique Garrison (1959-1960), le travail accompli aux frontières des deux disciplines a été extrêmement fécond, suscitant à la fois des idées et des techniques nouvelles, qui sont déjà mises en application dans les publications de quelques écoles géographiques. La nature et le rythme de cette révolution ne sauraient échapper à quiconque se tient au courant des thèses publiées depuis 1948 par le département de géographie de l'université de Chicago.

3. SYSTÈMES ET MODÈLES

La géographie humaine et la théorie générale des systèmes

Au cours de la dernière décennie, la biologie et les sciences du comportement ont manifesté un intérêt croissant pour *la théorie générale des systèmes* (Bertalanffy, 1951). Quelques tentatives ont été faites (notamment par Chorley, 1962) pour introduire les concepts de cette théorie dans la géomorphologie et la géographie physique, et on ne voit pas pourquoi le concept de système ne pourrait pas être étendu à la géographie humaine. Nous allons en examiner la possibilité.

LA NATURE DES SYSTÈMES

Qu'est-ce qu'un système? Selon une définition peu précise citée par Chorley, c'est « un ensemble d'objets, assorti de relations entre ces objets et leurs attributs » (Hall et Fagen, 1956, p. 18). Dans le langage de tous les jours, on parle, en plomberie, d'un « système d'eau chaude » dans lequel l'ensemble des objets (chaudières, tuyaux, cylindres, etc.) est lié, par l'intermédiaire de la circulation de l'eau, avec un apport d'énergie sous forme de chaleur. En géomorphologie, on peut parler d'un

GÉNÉRALITÉS

« système d'érosion » dans lequel l'ensemble des objets (lignes de partage des eaux, versants, cours d'eau) est lié, par l'intermédiaire de la circulation de l'eau et des sédiments, avec un apport d'énergie sous forme d'averses.

En géographie humaine, l'équivalent le plus proche est sans doute la région polarisée (chap. 9, section 1), dans laquelle l'ensemble des objets (villes, villages, exploitations agricoles, etc.) est lié par des mouvements ou flux (d'argent, de migrants, de marchandises, etc.), et où les apports d'énergie résultent des besoins biologiques et sociaux de la communauté. Cette idée existe implicitement dans la plus grande partie de la théorie des places centrales (cf. pp. 137-143), bien que quelques auteurs seulement (notamment Vining, 1953, et Curry, 1964-B) se soient référés au concept de « système » pour en faire la description.

Il est donc clair que les systèmes sont des portions, arbitrairement délimitées, du monde réel, qui possèdent des connexions fonctionnelles. Von Bertalanffy (1951) distingue les *systèmes fermés* et les *systèmes ouverts*. Les systèmes fermés possèdent des limites définissables à travers lesquelles aucun échange d'énergie n'a lieu, mais, comme on n'a guère de chances, de par leur définition, d'en rencontrer au cours d'études géographiques (sauf dans le cas limite où l'on étudie le monde entier), il n'en sera pas question ici.

LES RÉGIONS POLARISÉES (OU NODALES) EN TANT QUE SYSTÈMES OUVERTS

Dans la première partie de ce livre, nous adoptons le point de vue selon lequel il est possible de considérer les régions polarisées comme des systèmes ouverts (Philbrick, 1957; Nystuen et Dacey, 1961) : l'étude des *mouvements* (chap. 2) conduit à l'examen des canaux le long desquels les mouvements se produisent, et qui forment le *réseau* (chap. 3), à l'examen des *nœuds* de ce réseau (chap. 4) et de leur organisation selon une *hiérarchie* (chap. 5); finalement sont intégrées au système les zones interstitielles considérées comme des *surfaces* (chap. 6). On peut se représenter plus clairement cette progression, qui va des flux d'énergie aux formes topographiques identifiables, grâce à la figure 1.5, où l'on peut, à la place de leurs équivalents géométriques abstraits, mettre des formes géographiques plus familières : routes, habitat, hiérarchie urbaine, zones d'utilisation du sol. Des sceptiques considèrent encore la région polarisée comme une pure construction de l'esprit; pourtant, Dickinson (1964, pp. 227-434) a examiné en détail les régions urbaines existant aux États-Unis et en Europe occidentale, et Caesar (1955, 1964) a montré la force de la polarisation à l'intérieur de régions aussi dissemblables par la taille que le bloc communiste d'Europe orientale et le Nord-Est de l'Angleterre.

Si on veut considérer les régions polarisées comme des systèmes ouverts, il faut d'abord définir les critères qui permettent d'identifier de tels systèmes, puis vérifier s'ils existent dans le système régional. Selon Chorley (1962, pp. 3-8), les systèmes ouverts possèdent certaines des six caractéristiques suivantes : 1^o leur entretien et leur conservation nécessitent un apport d'énergie. En même temps, ils ont la capacité : 2^o d'atteindre un « état stable » dans lequel des ajustements de forme répondent aux entrées et aux sorties d'énergie et de matière; 3^o de se régler eux-mêmes, par des

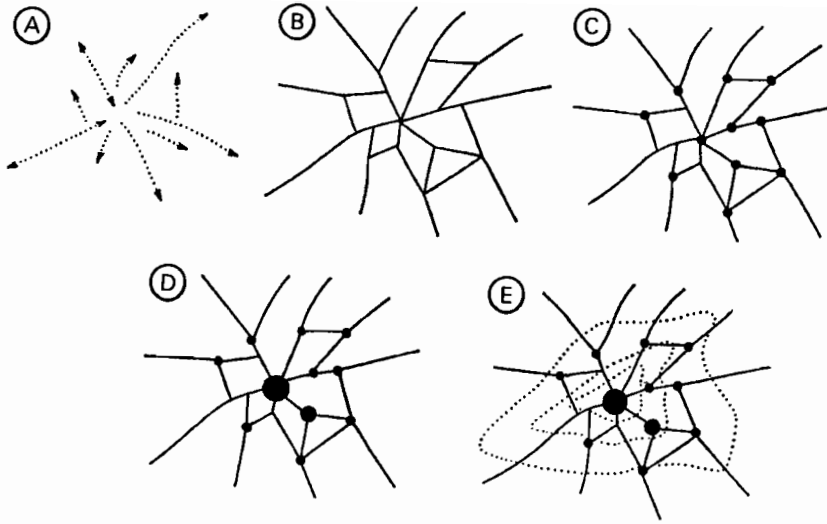


Fig. 1.5 — Étapes de l'analyse des systèmes régionaux : A. Mouvements. — B. Réseaux. — C. Nœuds. — D. Hiérarchies. — E. Surfaces.

ajustements homéostatiques; 4° de conserver des grandeurs optimales pendant un certain temps; 5° de conserver leur organisation et leur forme dans le temps au lieu de tendre (comme font les systèmes fermés) vers l'entropie maximale; 6° d'avoir un comportement « équi final », en ce sens que des conditions initiales différentes peuvent conduire à des résultats finaux identiques.

Il est certain que les géographes rencontrent dans leurs systèmes régionaux certaines de ces six caractéristiques. L'organisation régionale a besoin d'être entretenue par des flux constants d'hommes, de marchandises, d'argent, d'informations; à un excès de flux vers l'intérieur du système peuvent répondre des changements de forme (développement des villes ou expansion urbaine), de même qu'une diminution des mouvements peut entraîner des contractions, faire mourir des villes. Il est clair que les deux premières conditions sont satisfaites. Il en est de même pour la troisième condition : la région urbaine se conforme au principe de Le Châtelier, en ce sens que la zone d'attraction de la ville peut s'étendre ou se contracter, en réponse à une augmentation ou à une diminution des flux. Selon Berry et Garrison (1958-c), la région urbaine satisfait la quatrième et la cinquième condition, en ce sens que la forme des relations entre le rang et la taille des villes (chap. 4, section 2) tend à être relativement constante, dans le temps comme dans l'espace. Enfin, le fait que les grandes villes visent de plus en plus à acquérir la même forme, d'un continent à l'autre, donne à penser que le système ouvert urbain est capable d'avoir un comportement « équi final ».

Considérer la région comme un système ouvert présente l'avantage d'attirer l'attention sur les liens entre forme et processus, et de mettre la géographie au rang d'autres sciences, biologiques et sociales, dont la réflexion s'organise de cette manière.

GÉNÉRALITÉS

Des échanges entre spécialistes qui étudient les « écosystèmes » à tous les niveaux devraient s'avérer profitables (*cf.* par exemple Thomas, 1956, pp. 677-806).

La construction de modèles en géographie humaine

Dans la langue anglaise courante, le terme *model* (modèle) est employé dans trois sens différents au moins. Substantif, le mot implique l'idée de représentation; adjectif, il comporte celle d'idéal; verbe, il signifie faire voir. En français également quand nous parlons d'un « modèle » réduit de chemin de fer ou d'un époux « modèle », nous employons le même mot dans des sens différents. Ackoff (Ackoff, Gupta et Minas, 1962) a proposé que l'on introduise dans l'usage scientifique du terme une part de chacune des trois significations; en construisant un modèle (*model building*) on crée une représentation idéalisée de la réalité afin de faire apparaître certaines de ses propriétés.

Le recours aux modèles est rendu nécessaire par la complexité de la réalité. Ils constituent un support conceptuel, et, comme tels, fournissent au professeur une image de la réalité simplifiée et apparemment rationnelle, et au chercheur une source d'hypothèses de travail à mettre à l'épreuve de la réalité. Les modèles ne communiquent pas toute la vérité, mais une part, utile et intelligible, de la vérité.

LES TYPES DE MODÈLES

Ackoff (Ackoff et *al.*, 1962) a proposé une classification simple en trois catégories : les modèles iconiques, analogiques et symboliques. Chacune de ces catégories correspond à un degré d'abstraction plus élevé que la précédente. Les modèles iconiques reproduisent les propriétés à une échelle différente; les modèles analogiques représentent une propriété par une autre; les modèles symboliques expriment les propriétés par des symboles. On peut faire une comparaison très simple avec le système routier d'une région : des photographies aériennes figureraient le premier degré d'abstraction (modèle iconique); des cartes, sur lesquelles les routes seraient figurées par des traits d'épaisseur et de couleur différentes, correspondraient au deuxième degré d'abstraction (modèle analogique); une expression mathématique, la densité des routes, représenterait le troisième degré d'abstraction (modèle symbolique). A chaque stade, on perd de l'information, et le modèle devient plus abstrait mais plus général.

Chorley (1964), poursuivant cette opération de classification, a créé un « modèle de modèles » (fig. 1.6), qu'il a illustré d'exemples tirés de la géographie physique et humaine. Son modèle consiste en un organigramme dans lequel une série de « stades » (A_1 à A_6) sont reliés par des transformations (T_1 à T_6). Chaque stade correspond à un certain aspect du monde réel : modèle, observation ou conclusion; chaque transformation relie ces stades par une opération (formation de concepts, raisonnement mathématique, interprétation statistique, etc.) qui constitue un progrès, ou une vérification, dans la marche du raisonnement.

La première partie de la figure 1.6 est relative à l'opération d'abstraction par laquelle on simplifie le monde réel, si complexe, afin de le rendre plus intelligible. Chorley

soutient que si cette opération est difficile, c'est en grande partie parce que, tout en perdant d'énormes quantités d'informations, on introduit des « bruits parasites » ; un tableau de Cézanne constitue un modèle abstrait d'un paysage, dans lequel l'intensité du « brouillage » (coups de pinceau, etc.) est forte, tandis qu'un Ruysdaël est moins simplifié mais beaucoup moins « brouillé » (Chorley, 1964, p. 132). Les modèles réussis sont ceux qui parviennent à simplifier beaucoup sans introduire de parasites.

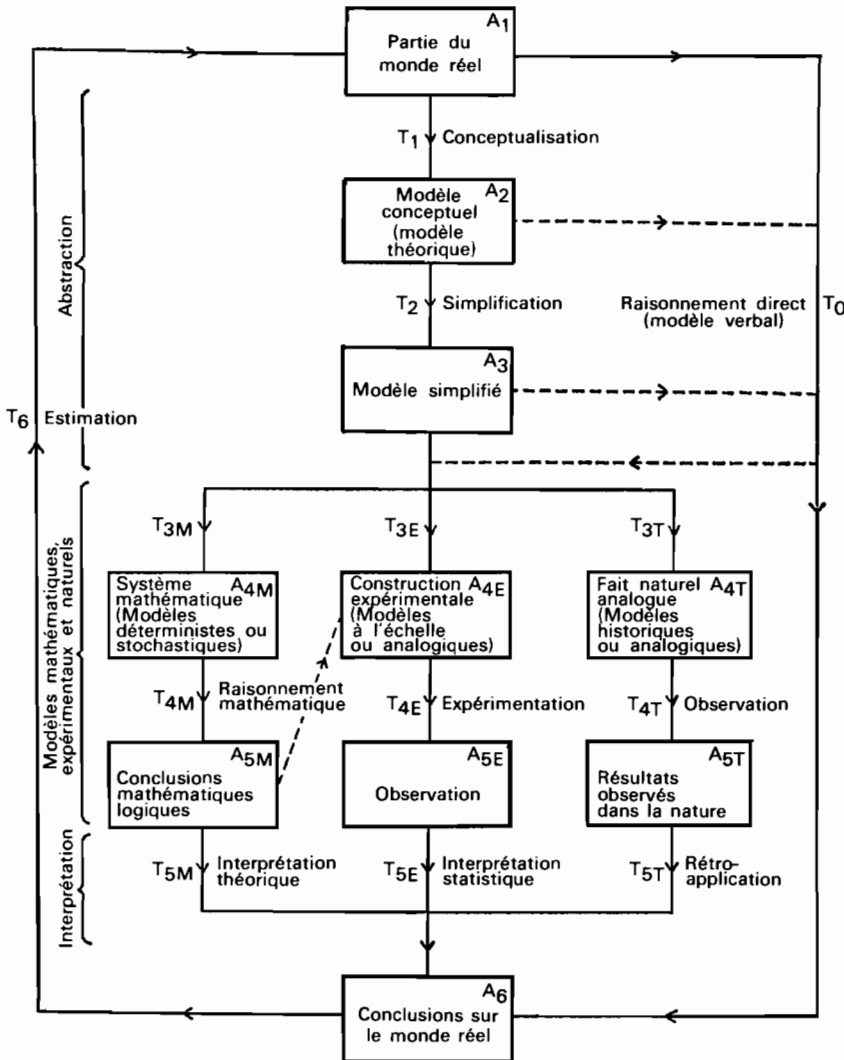


Fig. 1.6 — Un modèle de modèles.

Source : CHORLEY, 1964, p. 129.

Avec la deuxième partie de la figure 1.6, on aborde la division en trois grandes catégories de modèles : modèles mathématiques, expérimentaux et naturels. On pourrait donner : 1^o comme exemples de *modèles mathématiques*, en géographie humaine, les équations prenant en compte la distance (Isard, 1956), ou l'« équation de continuité » de Beckmann (1952), dans lesquelles des caractéristiques du système étudié sont remplacées par des symboles abstraits et soumises au raisonnement mathématique; 2^o comme exemples de *modèles expérimentaux*, l'emploi, dans la théorie des migrations de Hotelling, d'une analogie avec les flux de chaleur (Hotelling, 1921, cité par Bunge, 1962, p. 115), ou la machine à poids et à poulies de Weber (1909) qui, dans sa théorie sur la localisation de l'industrie, emploie des structures matérielles pour simuler certains aspects de la réalité; 3^o comme exemple de *modèles naturels*, l'analogie établie par Garrison entre l'expansion d'une calotte glaciaire et la croissance urbaine (citée par Chorley, 1964, p. 136); ici, la réalité étudiée est remplacée par un fait naturel analogue considéré comme plus simple ou d'accès plus facile. Dans chaque cas, le problème consiste : à donner aux faits étudiés une forme analogique, sous laquelle ils sont soit plus simples, soit plus accessibles, soit plus faciles à maîtriser et à mesurer; à étudier le problème sous la forme de cette analogie ou modèle; et à réappliquer les résultats de l'étude au système initial. Les modèles constituent donc des fragments de systèmes conceptualisés, tout comme les systèmes représentent des fragments du monde réel arbitrairement isolés.

LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DE MODÈLES

En géographie économique, la construction de modèles a progressé selon deux voies distinctes et complémentaires. Première voie : le chercheur aborde « furtivement » un problème; il pose d'abord des postulats très simples et introduit peu à peu des complications, en se rapprochant toujours davantage de la réalité. Ainsi procède Thünen (1875) dans le modèle d'utilisation du sol qu'il présente dans son livre *Der Isolierte Staat* (chap. 6, section 2). Dans cet « État isolé », il suppose d'abord l'existence d'une seule ville, d'une plaine uniforme horizontale, d'un seul moyen de transport, et d'autres faits tout aussi simples; dans cette situation simple, il peut calculer des gradients élémentaires de rente du sol, desquels résulte une succession convaincante d'« anneaux » d'utilisation du sol. Mais Thünen brouille ensuite cette image en réintroduisant les objets mêmes qu'il avait tout d'abord supposés inactifs : sols de nature différente, marchés entre lesquels on peut choisir, moyens de transport divers. Alors, la symétrie annulaire du schéma initial fait place à une mosaïque irrégulière, beaucoup plus semblable au plan que l'on observe en étudiant l'utilisation du sol. Cependant, le modèle de Thünen a joué son rôle; selon Ackoff, il a « fait apparaître certaines propriétés » du paysage économique.

La seconde méthode consiste à transformer la réalité par une série de généralisations simplificatrices. Ainsi procède Taaffe (Taaffe, Morrill et Gould, 1963) dans son modèle de développement des voies de communication (chap. 3, pp. 93-96). Il expose d'abord l'histoire du développement des voies de communication au Ghana pendant la période d'exploitation coloniale. A partir du schéma ghanéen, il identifie

une série de stades successifs : au premier, des comptoirs commerciaux sont éparpillés le long de la côte; au dernier, on est dans une phase d'interconnexion : partout sont établies des liaisons, dont certaines sont prioritaires. Finalement, Taaffe formalise cette évolution en une suite de quatre stades, commune au Ghana (où il l'a observée) et à d'autres pays en voie de développement comme le Nigeria, l'Afrique orientale, la Malaisie, le Brésil.

Les modèles de ce genre, élaborés par induction à partir d'observations, ne sont pas tous nés au sein même de la géographie. Certains des plus réussis sont fondés sur des concepts empruntés à d'autres disciplines, particulièrement à la physique. C'est ainsi que Zipf (1949) a essayé de transposer l'« élastique divin » (Newton) de la gravitation aux phénomènes sociaux; sa formule $P_i P_j / d_{ij}$, qui mesure l'interaction entre deux villes de masses P_i et P_j , séparées par une distance d_{ij} , est une extension directe de la physique de Newton. Une fois modifiée par le concept affiné de distance dû à Isard (1960) et par l'introduction des « occasions interposées » de Stouffer (1962), la formule de Zipf s'est révélée être un instrument de prévision très efficace dans l'étude des courants de circulation qui se créent entre des points (chap. 2, section 2). Moins largement connu est l'emprunt fait par Lösch (1954, p. 184), qui a établi un rapport entre, d'une part, l'« inflexion » présentée par les voies de communication lorsqu'elles traversent des contrées dont la résistance et les avantages diffèrent et, d'autre part, la formule du sinus valable pour la réfraction de la lumière et du son (chap. 3, pp. 75-77). Certes, de tels emprunts peuvent présenter des dangers; mais ils constituent une abondante source d'hypothèses, dont on peut posément tester la pertinence à l'égard des problèmes de géographie économique. Un livre tel que *On Growth and Form*, de D'Arcy Thompson (1917), montre combien de disciplines trouvent un terrain commun dans l'étude de la morphologie; on peut encore s'inspirer de ses exposés sur les structures cristallines ou sur la formation des rayons de miel, comme Bunge (1964) l'a mis en lumière. Ces modèles sont étudiés à fond dans la première partie du présent ouvrage et dans *Models in Geography*, de Chorley et Haggett (1967).

LE RÔLE DES MODÈLES

Pour Bacon, dans *Novum Organum*, la théorie scientifique consiste en « anticipations téméraires et prématurées ». On pourra soutenir que la plupart des modèles décrits dans la première moitié du présent ouvrage correspondent à cette définition : ils sont tous grossiers, pleins d'exceptions, plus faciles à réfuter qu'à défendre. Mais alors, dira-t-on, pourquoi se fatiguer à créer des modèles au lieu d'étudier directement les « faits » qui relèvent de la géographie humaine? La réponse est que la construction de modèles est inévitable, économique et stimulante :

1° Construire des modèles est inévitable, parce qu'il n'existe pas de ligne de démarcation bien fixée entre faits et croyances; selon le mot de Skilling « la croyance en un univers de choses réelles n'est qu'une croyance ... une croyance hautement probable sans aucun doute, mais qui n'en est pas moins une croyance » (1964, p. 394 A).

GÉNÉRALITÉS

Sont des modèles, les théories, les lois, les équations ou les intuitions qui énoncent nos croyances sur l'univers que nous pensons voir.

2^o Construire des modèles est économique, parce que cela permet de transmettre ce qu'il y a de général dans l'information sous une forme très condensée. De même que pour les règles du pluriel des adjectifs, en français, il peut exister des exceptions; mais la règle n'en est pas moins un moyen de progresser dans l'apprentissage de la langue. Chorley et Haggett (1965-A, pp. 360-364) ont exposé cette utilisation pédagogique des modèles.

3^o Construire des modèles est stimulant, en ce sens que, du fait même des généralisations trop poussées que cela implique, les points où un perfectionnement est nécessaire apparaissent clairement. La construction et la mise à l'épreuve des modèles ont autant d'importance pour la géographie que pour l'aéronautique; le vol d'essai d'une hypothèse n'est pas moins palpitant ni moins dangereux que le vol d'essai d'un prototype *Concorde*. L'un et l'autre conduisent à de nouvelles recherches et à des modifications.

En un mot, le rôle des modèles en géographie est de codifier les résultats déjà obtenus et de susciter de nouvelles recherches. Il se peut que le stock actuel de modèles soit peu engageant, mais, comme l'a écrit Lösch, « le chemin de la science ne passe-t-il pas souvent sur de précaires passerelles, que nous sommes tous prêts à emprunter, pourvu qu'elles nous permettent de poursuivre notre route? ». Lösch espérait que ses travaux sur les régions ouvriraient « une voie dans un pays riche mais presque inconnu » (Lösch, 1954, p. 100); cet espoir a été comblé.

4. DÉTERMINISME ET PROBABILISME

L'abandon du déterminisme en géographie humaine

Dans l'atmosphère d'optimisme où baigna la science après le triomphe que fut la démonstration, par Newton, des lois de la gravitation, on fit bien des rêves déraisonnables au sujet de la prévision scientifique. Le mathématicien français Laplace avança l'idée qu'il était théoriquement possible de définir le destin de chaque atome de l'univers, aussi bien dans l'avenir que dans le passé. Certes, chacun pensait que ce ne serait possible que dans un avenir très lointain, mais que c'était un but vers lequel la science pouvait lentement progresser. En géographie, cet optimisme s'est exprimé dans *la théorie du déterminisme géographique*, selon laquelle on peut prévoir le comportement des hommes par référence au milieu physique. Les prétentions excessives, les échecs cuisants, le débat sur le « possibilisme » sont un moment de l'histoire du développement de la géographie (cf. Hartshorne, 1939, pp. 56-60) qui ne fait guère honneur aux talents d'observation des géographes, sans parler de leur capacité de jugement.

Les réactions contre les excès du déterminisme géographique ont été à la fois négatives et positives. Aspect négatif : son abandon a conduit au rejet quasi systématique de toute théorie (cf. section 1); par suite, ce que les géographes ont publié est devenu plus précis, mais aussi infiniment moins intéressant. La description a été

substituée à l'hypothèse, la répétition au débat. Aspect positif : les géographes se sont attaqués aux complications des systèmes régionaux sans jamais se fier à ces clefs simples que fournissent les relations de cause à effet. L'analyse qu'a faite Meinig (1962) du réseau ferroviaire du bassin de la Columbia, dans le Nord-Ouest des États-Unis, en est un bon exemple. La figure 1.7 B représente les voies ferrées construites par la compagnie Northern Pacific Railroad pendant la seconde moitié du XIX^e siècle. Par rapport aux conditions actuelles, le tracé de ces voies obéit à une logique satisfaisante : le relief et les villes, jouant le rôle de barrières ou d'aimants, façonnent la géométrie sinueuse du réseau. Mais, comme Meinig le souligne, une telle logique est en grande partie illusoire. La plupart des villes ont été les produits du chemin de fer, plutôt que les causes de son tracé; elles sont nées après lui, non avant. En

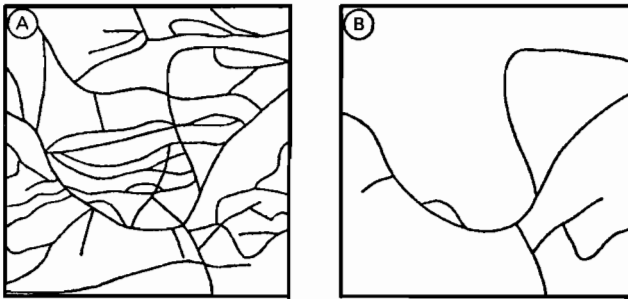


Fig. 1.7 — Opposition entre les tracés de voies ferrées qui ont été proposés (A) et ceux qui ont été effectivement aménagés (B) par la compagnie Northern Pacific Railroad, dans un secteur du Nord-Ouest des États-Unis ($G = 3,7$).

Source : MEINIG, 1962, p. 413.

ce qui concerne le caractère rigoureux de l'influence du relief, la carte des projets de tracés, construite à partir des dossiers des ingénieurs-conseils de la compagnie (fig. 1.7 A) fait apparaître un enchevêtrement de tracés qui étaient tous, sur un plan strictement technique, des concurrents sérieux pour le tracé définitif. Meinig affirme que pour « expliquer » la raison pour laquelle tel tracé a été choisi, tel autre écarté, il faudrait entreprendre une analyse psychologique des décisions du conseil d'administration de la compagnie. En effet, quand on examine en détail la plupart des aspects du comportement humain auxquels s'intéresse la géographie (par exemple les migrations, les localisations industrielles, le choix de l'utilisation du sol), on risque fort de « se perdre dans le maquis des processus de décision » (Meinig, 1962, p. 413).

Le point de vue de Meinig est confirmé par Morrill (1963) dans une étude sur la localisation des villes dans le centre de la Suède; Morrill avance l'idée que l'homme n'est pas toujours capable de faire des distinctions entre des options de valeur égale, et qu'il ne peut pas toujours identifier les localisations optimales, à supposer qu'elles existent. Morrill soutient qu'il y a dans la structure du comportement humain des incertitudes fondamentales qu'il est tout simplement impossible d'écartier. Ces difficultés sont multipliées par l'existence de deux autres sources d'indétermination : d'une

part le grand nombre d'options d'égale valeur, d'autre part l'incapacité de prendre en compte la myriade de très petits effets produits par de nombreuses petites causes. Il existe dans le centre de la Suède beaucoup plus de sites urbains potentiels que de villes, de sorte que le site à lui seul ne suffit jamais à expliquer une localisation urbaine en un point; c'est au contraire un très grand nombre de facteurs qui contribuent à la croissance urbaine, chaque facteur s'enchaînant aux autres en un dédale de causalités secondaires. Si Newton avait raison, en principe, de dire qu'un papillon qui se pose ébranle la terre, il est également vrai que l'effet net de telles causes infinitésimales peut être considéré comme aléatoire. A moins de suivre saint Thomas d'Aquin dans la métaphysique de la « cause première », on peut seulement avoir l'espoir de démêler quelques-uns des principaux fils, dans chaque situation; quant au reste, on ne peut que le considérer comme une sorte de bruit de fond, comme un mouvement brownien.

Lois normatives et lois probabilistes

L'INCIDENCE DU PRINCIPE D'INCERTITUDE

Une des raisons fondamentales de douter de la possibilité d'étendre les interprétations par relations de cause à effet à l'univers du comportement humain nous est donnée par la microphysique ou physique quantique. Quand Max Planck eut découvert, en 1900, que l'énergie, comme la matière, n'est pas continue, mais se manifeste sous forme de petits grains ou quanta, la recherche, tant théorique qu'empirique, dans cette branche de la physique buta sur des problèmes de plus en plus ardues. Il s'avéra impossible d'appliquer de rigides lois mécanistes à ces particules si petites, et c'est un physicien allemand, Heisenberg, qui en 1927 traduisit ce problème en un principe formel, le *principe d'incertitude*, selon lequel toutes les observations sur la nature comportent en définitive, par essence, une part d'incertitude. Si on essaie de mesurer la localisation d'une particule de façon plus précise, on doit sacrifier une part de précision dans la mesure du temps; si on estime sa vitesse de façon plus précise, on est moins sûr de sa position.

Bien que les expériences de Heisenberg aient été par la suite l'objet de révisions, ce principe, contemporain de la diffusion des conceptions de Francis Galton et Karl Pearson sur la statistique probabiliste, a joué un rôle très important dans le débat métaphysique sur la nécessité. Le remplacement des lois normatives (du latin *norma* = règle) par le concept de tendance probabiliste a permis de considérer le comportement humain d'une façon tout à fait nouvelle, qui concilie libre-arbitre et déterminisme. A la vérité, il se peut que l'opposition de ces deux points de vue extrêmes soit fondée sur un malentendu relatif à l'échelle des phénomènes considérés. Selon Bronowski (1960, p. 93) : « le déplacement d'un groupe social soumis à une pression matérielle est semblable à l'écoulement d'un gaz; en moyenne, les individus obéissent à la pression; mais, à tout moment, chaque individu peut, comme un atome de gaz, traverser ou remonter le courant. »

Cette idée que les lois physiques n'ont pas un caractère déterministe, mais ne sont

que des approximations statistiques, d'une très forte probabilité, fondées sur des populations extrêmement grandes — mais finies — a été assimilée assez lentement par les sciences sociales. Comme Kates (1962) l'a soutenu dans une étude sur le rôle du hasard dans l'aménagement des plaines d'inondation, ni la conception freudienne de l'homme conduit par des impulsions intérieures en grande partie inconnues, ni les principes rigides de l'économie classique (l'*Homo economicus* se pliant à toutes les menues oscillations du marché des valeurs) ne fournissent un cadre satisfaisant à l'étude du comportement des hommes en matière de localisation. Les deux points de vue ont été attaqués de l'intérieur et semblent rétrospectivement « aussi erronés que les tentatives des premiers physiciens pour tout expliquer par référence aux quatre éléments, ou que celles des premiers médecins pour expliquer le tempérament par référence aux quatre humeurs » (Kendall, 1960, p. 7).

Simon (1957, pp. 196-200) a attiré l'attention sur l'alternative que constituent deux modèles de comportement individuel, *le modèle d'optimisation et le modèle de satisfaction*. Le concept d'optimisation a été introduit implicitement dans la géographie humaine par l'intermédiaire du postulat sur lequel reposent les modèles tels que ceux de von Thünen, Weber, Christaller et Lösch et selon lequel les individus ou les groupes se répartiraient dans l'espace de façon à optimiser l'ensemble existant des ressources et des demandes. Simon a soutenu, et Wolpert (1964) a démontré (voir au chapitre 6, pp. 205-206 l'exposé de ses résultats concernant l'exploitation agricole en Suède), que le modèle d'optimisation est assez peu satisfaisant. L'optimisation exige que l'individu ou le groupe soient informés et prennent leurs décisions le plus parfaitement possible, et il est tout à fait évident que, individuellement ou collectivement, les hommes n'agissent absolument pas, et même ne peuvent pas agir à ce niveau de perfection, à cause des incertitudes relatives au *temps*. Simon remplacerait volontiers ce modèle par un modèle de satisfaction fondé sur le postulat suivant : 1^o les hommes ordonnent les diverses lignes de conduite possibles présentes à leur conscience sur une échelle de préférences; 2^o ils choisissent dans cet ensemble la ligne qui satisfera un ensemble de besoins. Évidemment, ce choix est souvent sub-optimal, car « l'optimisation exige des opérations dont la complexité dépasse de plusieurs ordres de grandeur celle des opérations exigées par la satisfaction » (March et Simon, 1958, p. 140).

L'APPARITION DES MODÈLES STOCHASTIQUES

La démonstration de l'insuffisance des modèles normatifs classiques de comportement humain a fait place nette à l'idée que la rationalité de l'homme est limitée; ainsi a été stimulée la recherche d'autres types de modèles de comportement. La percée s'est produite en économie, à l'occasion de la seconde guerre mondiale. C'est dans ce domaine que la fusion des mathématiques, de l'économie et de la logistique suscita l'apparition de la théorie des jeux, illustrée notamment par un livre remarquable, *The Theory of Games and Economic Behaviour* (Von Neumann et Morgenstern, 1944). Dans cet ouvrage, le principe d'incertitude est introduit de façon rigoureuse dans la science économique, par l'intermédiaire de la théorie mathé-

GÉNÉRALITÉS

matique des jeux. Le formalisme de l'offre, de la demande et de la connaissance parfaite est remplacé par une théorie plus solide et, du point de vue mathématique, plus élégante, la théorie des probabilités, dans laquelle les incertitudes (par exemple celles concernant le marché, les prix, la production) sont les seules constantes. Il s'agit ici, évidemment, du monde que, en tant qu'individus, les hommes connaissent : un monde qui n'est pas entièrement rationnel, ni entièrement chaotique, mais qui est un mélange probabiliste de choix, de calculs et de hasard.

L'isolement de la géographie humaine dans le monde universitaire a retardé les effets du principe d'indétermination dans cette discipline. C'est seulement en 1957 que Neyman a présenté une théorie de la croissance dans laquelle le hasard ou les processus stochastiques (du grec *stokhos* = but que l'on vise, conjecture) jouent un rôle majeur. La théorie elle-même (chap. 2, section 4) est abstraite et s'applique aussi bien aux galaxies (Neyman, Scott et Shane, 1956) qu'aux populations animales (Neyman et Scott, 1957). On peut penser que Lösch, s'il avait été encore en vie, aurait adopté ces idées avec enthousiasme; il écrivait en 1940 : « Je doute fort que les principes fondamentaux de la théorie de la localisation diffèrent beaucoup entre la zoologie, la botanique et l'économie » (Lösch, 1954, p. 185). La diffusion de modèles tels que ceux de Neyman dans la recherche géographique tend à effacer les vieilles lignes de partage entre sujets d'étude et à créer de nouveaux domaines de travail en commun.

En Suède, Hägerstrand et ses collègues ont déjà commencé à travailler à l'application de modèles stochastiques de Monte-Carlo à l'étude des migrations (Hägerstrand, 1953; Morrill, 1963). Les méthodes de la théorie des jeux ont été appliquées aux problèmes de localisation, à propos des villes aussi bien que de l'espace rural (Stevens, 1961; Gould, 1963). Curry (1964) est allé encore plus loin, en appliquant des procédés purement aléatoires à l'élaboration de types de répartition de l'habitat correspondant à des degrés différents de spécialisation industrielle. Certaines de ces théories sont passées en revue dans les chapitres suivants (chap. 2, section 4; 4, section 1; 6, section 3; 10, section 3), mais le nombre de celles qui ont été élaborées jusqu'à présent en géographie humaine reste malheureusement réduit, et l'étude de certains modèles (par exemple des chaînes de Markov) commence à peine.

PREMIÈRE PARTIE

Les modèles de structure des localisations

« Les idées hardies et les anticipations injustifiées sont nécessaires pour interpréter la nature : la réflexion théorique est notre seul organe, notre seul outil pour appréhender la réalité. Nous devons en courir le risque; ceux d'entre nous qui ne veulent pas exposer leurs idées au feu de la critique ne jouent pas le jeu scientifique. »

(Karl POPPER, *The Logic of Scientific Discovery*, 1959, p. 280.)

Mouvement et morphologie

Mouvement et distance : le concept d'interaction

Mouvement et surface : les concepts de champ et de territoire

Mouvement et temps : le concept de diffusion

LES MOUVEMENTS

Une des difficultés de l'analyse des systèmes régionaux intégrés (chap. 1, section 3) est le fait qu'il n'existe pas de point d'entrée évident ou unique. A vrai dire, plus le système est intégré, plus il est difficile de le dissocier. Ainsi, dans le cas de régions polarisées, il est tout aussi logique de commencer par l'étude du peuplement que par celle des voies de communication. Comme Isard le fait observer : « le labyrinthe des interdépendances, dans la réalité, est vraiment redoutable, leur nombre infini, leur circularité incontestable. Cependant, il faut les disséquer ... quel que soit le point par où l'on doit entrer dans leur cercle ». Pour pénétrer dans ce cercle, nous avons choisi l'étude des mouvements.

Ce chapitre expose les divers types de mouvements qui importent dans la construction des autres composantes du système régional, et passe en revue quelques-uns des modèles élaborés pour décrire leur organisation. L'idée de mouvements conduit à l'examen des champs naturels qu'ils créent, et aux territoires « non naturels » définis pour délimiter des champs qui se chevauchent. Nous introduisons aussi, à ce stade, l'idée de diffusion, extension logique du mouvement dans le temps, en essayant de montrer le lien entre ses points d'application, séparés dans la suite de ce livre.

1. MOUVEMENT ET MORPHOLOGIE

Le mouvement est un aspect de l'organisation régionale sur lequel on a trop peu insisté en géographie humaine. Crowe (1938) critiquait ses collègues géographes pour l'intérêt excessif qu'ils portaient aux éléments statiques de la surface de la terre. La géographie, se demandait-il, doit-elle s'intéresser seulement à la distribution de l'*Homo dormiens*? Depuis ces critiques, la recherche géographique a identifié un nombre croissant de types de mouvements et de circulations (Capot-Rey, 1947; études de migrations de l'école de Lund — Hannerberg, Hägerstrand et Odeving, 1957). Dans cette perspective, la population humaine est considérée non comme une caractéristique statique (les cartes par points de l'analyse géographique traditionnelle) mais comme un complexe de particules oscillantes, avec de courtes boucles reliant les lieux de résidence, de travail et de loisir, et des boucles plus longues joignant de vieux foyers à des aires nouvelles de migration. On peut considérer de même d'autres composantes du système régional — les zones agricoles sous l'angle des mouvements de transport, ou la croissance urbaine sous l'angle des migrations quotidiennes (Kain, 1962). Chacun de ces types de mouvement laisse sa marque particulière sur la face de la terre. Bunge a suggéré que les processus physiques et sociaux laissent des traces comparables : « les cours d'eau de Davis transportent les matériaux terrestres vers la mer et laissent dans le sol l'entaille des vallées; les produits agricoles de Thünen sont emportés vers le marché et laissent leur marque sur la terre sous forme d'anneaux de culture; les innovations agricoles progressent à travers l'Europe, comme les fronts glaciaires, formant les régions de progrès agricole de Hägerstrand et les moraines terminales » (Bunge, 1962, p. 196).

Ce dualisme entre géographie physique et géographie humaine ressortit à un parallélisme beaucoup plus large entre mouvement et géométrie. Dans ce domaine, D'Arcy Thompson (1917) a essayé de montrer comment des concepts mathématiques (par exemple : grandeur et transformation) et des principes de dynamique (par exemple : l'énergie disponible) contribuent à expliquer les formes biologiques. Comme Henri Fabre, un autre biologiste, Thompson était fasciné par la régularité et la perfection mathématique d'une alvéole d'abeille ou d'une aile de libellule, qu'il rapprochait dans les notions fondamentales de géométrie et de mouvement. Une aptitude semblable à reconnaître des liens entre des domaines traditionnellement séparés se retrouve chez l'un des plus grands théoriciens de la localisation, August Lösch, qui voyait des parallélismes fondamentaux entre formes biologiques et formes économiques.

Lösch (1954, p. 184) a attiré l'attention sur ce qu'il appelle, d'un terme pompeux, *lex parsimoniae* ou « loi du moindre effort ». Ce concept suggère que les événements naturels atteignent leur but par le plus court chemin. Il apparaît d'abord en physique au XVIII^e siècle avec l'œuvre de Lagrange, en tant que *principe de moindre action*, et réapparaît dans l'analyse des systèmes en tant que concept d'*énergie potentielle minimale*, dans la recherche opérationnelle en tant que *chemins optimaux de mouvement* et dans les sciences sociales en tant que « *principe du moindre effort* » (Zipf, 1949).

Nous aurons recours au « moindre mouvement » comme modèle explicatif en bien

des sections de la première partie de ce livre : la géométrie des formes du peuplement (chap. 4, section 1), ou de la répartition de l'industrie (chap. 5, section 4), ou des zones agricoles (chap. 6, section 2), obéit à des distributions régulières et souvent symétriques. Dès 1883, Mach (1942) soutenait que les « formes d'équilibre » sont souvent symétriques et régulières, et que, en terme de mécanique, elles correspondent à un maximum ou à un minimum de travail. La figure 2.1 représente une application pratique du concept de travail minimal, modifié par le point de vue probabiliste exposé dans la section 4 du chapitre 1. Si on suppose un plan uniforme, le chemin

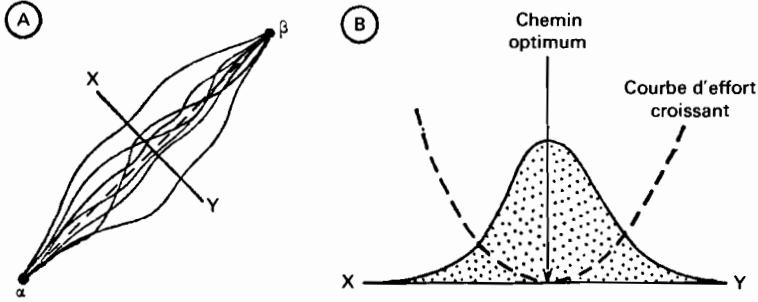


Fig. 2.1 — Chemins optima entre deux centres, du point de vue du calcul des probabilités.

de moindre effort entre les points α et β est représenté par la ligne en tireté sur la figure 2.1 A. Cependant, on peut soutenir (en s'appuyant par exemple sur les résultats obtenus par Meinig sur le tracé des voies ferrées dans le Nord-Ouest des États-Unis (cf. pp. 35 et 82-83) que les itinéraires réels s'écartent des chemins optimaux (en termes de distance) pour toute une série de raisons, rationnelles et irrationnelles. Des exemples d'itinéraires réels sont représentés par le faisceau de lignes qui relie α et β . En faisant une coupe transversale, de X à Y, perpendiculairement au chemin le plus court, on peut montrer que, plus les itinéraires s'écartent du chemin optimal, plus augmente la quantité de travail à fournir, mesurée en distance parcourue. Ceci est représenté par une parabole sur la figure 2.1 B. On peut soupçonner que les itinéraires réels tendront à fluctuer autour de l'optimum, de façon aléatoire, selon une distribution de Laplace-Gauss centrée sur le chemin de moindre effort (courbe en trait plein sur la fig. 2.1 B).

2. MOUVEMENT ET DISTANCE : LE CONCEPT D'INTERACTION

L'effet d'atténuation produit par la distance sur le mouvement a été reconnu intuitivement par des sociétés situées à tous les niveaux de développement; depuis au moins quatre-vingts ans (travaux de Ravenstein (1885-1889) en Angleterre et d'Andersson (1897) en Suède) cet effet est étudié scientifiquement. Les observations

de Ravenstein sur les relations entre la distance et le volume des migrations sont apparues si frappantes que l'on a essayé bien des fois d'exprimer cette liaison sous une forme générale, souvent mathématique. Ces tentatives ont été discutées en détail par Hägerstrand (1957, pp. 112-154) et par Isard (1960, pp. 493-568). Nous allons brièvement passer en revue quelques-uns des modèles les plus importants, et ce qu'ils impliquent du point de vue de la localisation. D'autres modèles, qui se rapportent plus logiquement à l'étude des champs et des territoires, seront présentés plus loin.

Études régionales des taux de décroissance

Les études menées sur les relations entre mouvements et distance sont très diverses, à la fois du point de vue des mouvements étudiés et du point de vue des distances concernées. La figure 2.2 rassemble trois exemples typiques de mouvements de

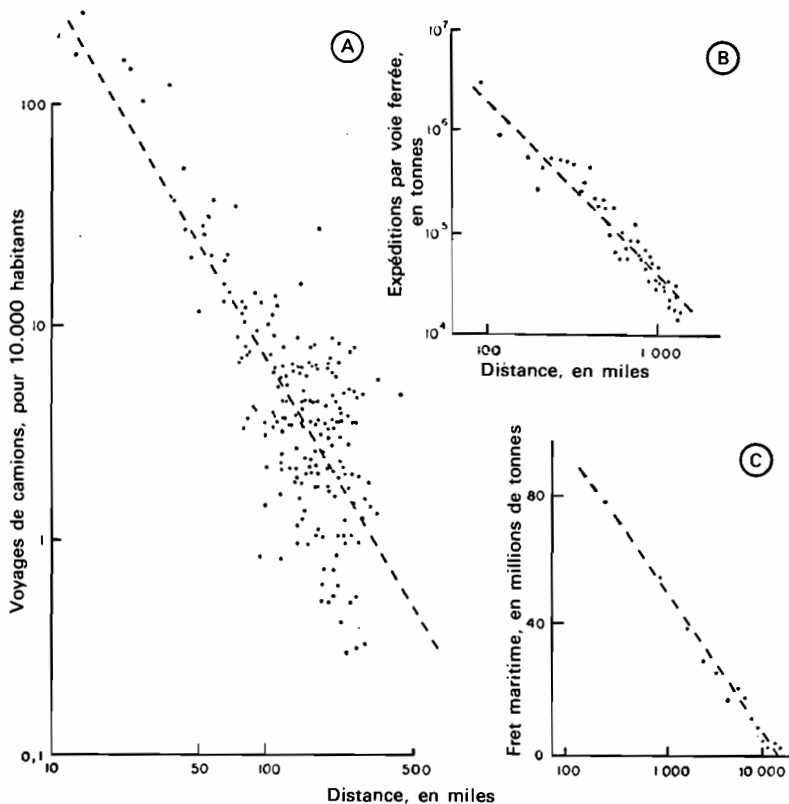


Fig. 2.2 — Taux de décroissance des mouvements : A. Voyages de camions autour de Chicago. — B. Expéditions par voie ferrée de classe 1, aux États-Unis, en 1949. — C. Fret maritime mondial, en 1925.

Sources : HELVIG, 1964, p. 78; ZIPF, 1949.

transport, à trois échelles différentes. Dans le premier (fig. 2.2 C), le volume du fret transporté entre vingt-cinq régions, par voie océanique, en 1925, est rapporté graphiquement à la distance. Malgré le caractère limité des données, la diminution continue des mouvements en fonction de la distance, jusqu'à 13 000 miles, apparaît clairement. Pour un espace plus limité, les États-Unis, la figure 2.2 B montre également la diminution du tonnage des expéditions de classe 1, par voie ferrée, en 1949, en fonction de la distance, qui va jusqu'à 1 500 miles. Pour une aire encore plus petite, la région de Chicago, Helvig (1964) a montré que le nombre des voyages de camions est, lui aussi, lié à la distance, dans une zone de 350 miles alentour (fig. 2.2 A).

Nombre d'études analogues ont été menées sur des mouvements autres que les mouvements de fret. L'étude de Dähl (1957) sur les contacts entre la ville de Västerås, en Suède et le reste de ce pays est typique; Dähl a cartographié les mouvements de population, le trafic de voyageurs, le trafic téléphonique, les abonnements aux journaux, les relations d'affaires, les relations nouées dans le commerce de détail, et le trafic de marchandises. Malgré des différences mineures, par exemple entre des mouvements dus aux relations privées et ceux dus aux relations d'affaires, ou entre une période et la période suivante, Dähl a constaté que la diminution générale du mouvement avec la distance était confirmée de façon frappante. A côté d'études régionales de ce genre existent quelques études systématiques. Dans un livre curieux, *Human Behaviour and the Principle of Least Effort*, Zipf (1949) a réuni des douzaines d'exemples variés de mouvements, dont la plupart concernent les États-Unis. Plus récemment, Isard (1956, pp. 55-76), dans la préface de son livre *Location and Space Economy*, a passé en revue des études semblables sur la distance et le mouvement.

Les modèles élémentaires d'interaction

Les modèles proposés pour expliquer les taux de décroissance décrits ci-dessus sont de deux sortes : les uns s'inspirent d'analogies physiques, les autres sont des tentatives empiriques pour rassembler des résultats de détail en une formule mathématique générale.

LES MODÈLES DÉDUCTIFS : ANALOGIES AVEC LA GRAVITATION ET L'ABSORPTION

Le domaine de la gravitation a fourni aux géographes un de leurs emprunts les plus productifs à la physique. Reilly (1929) a tiré directement de la théorie de Newton (Sears et Zemansky, 1964, p. 103) l'idée que le mouvement entre deux centres serait proportionnel au produit de leurs populations et inversement proportionnel au carré de la distance qui les sépare; ce que l'on peut formuler ainsi :

$$M_{ij} = P_i P_j (d_{ij})^{-2}$$

Dans cette formule, M_{ij} est l'interaction entre les centres i et j , P_i et P_j les masses des deux centres, et d_{ij} la distance qui les sépare. Comme Carrothers (1956) l'a montré dans un exposé historique, les concepts liés à la gravitation ont été rapidement adoptés, tant en Europe qu'en Amérique du Nord. Deux spécialistes américains

des sciences sociales, Stewart (1947) et Zipf (1949), ont étudié les interactions concernant une vaste gamme de phénomènes sociaux (migrations, trafic de fret, échange d'information, etc.) selon les termes de la formule de la gravitation, en employant une variante de la formule de Reilly :

$$M_{ij} = P_i P_j (d_{ij})^{-1}$$

La différence entre l'exposant -2 utilisé par Reilly et l'exposant -1 utilisé par Stewart et Zipf a été analysée par Hägerstrand (1957, pp. 118-119) qui suggère qu'elle peut traduire des différences existant réellement entre l'Europe et l'Amérique du Nord. Il est bien possible que l'Europe, moins développée, ait des gradients de mouvement plus forts que l'Amérique du Nord.

On a aussi employé, pour étudier les taux de décroissance, une analogie avec l'absorption. Johnsson (1952) a avancé l'idée que l'émigration à partir d'un centre pouvait être comparée à l'émission d'un rayon lumineux. La lumière est absorbée graduellement par le milieu, proportionnellement au flux par unité de distance. De même, on peut penser qu'une population qui migre est graduellement absorbée par les régions dans lesquelles elle se déplace. On peut transcrire cette idée par la formule

$$M_x = k X^{-1} e^{-ax}$$

où M_x est le pourcentage d'immigration dans un centre à partir d'une zone située à une distance X , k une constante, et a le coefficient d'absorption. Selon Hägerstrand, la courbe calculée à partir de l'équation d'absorption peut, si on l'applique à des données sur des mouvements, donner un meilleur ajustement qu'un simple modèle de gravitation. Cependant, les difficultés que l'on rencontre pour calculer la courbe et pour la comparer à d'autres résultats la rendent beaucoup moins utile que la formule de la gravitation.

LES MODÈLES INDUCTIFS : AJUSTEMENT DE COURBES

Une méthode assez différente a été employée pour analyser des mouvements de migration en Scandinavie. Kant (1946), étudiant l'immigration dans la ville estonienne de Tartu, a proposé une formule du type de celle de Pareto :

$$M = a D^{-b}$$

où M est le nombre de migrants ramené à une population type, D la distance, a et b des constantes. La figure 2.3 A représente une telle formule ajustée à l'émigration observée à partir de la ville d'Asby (Suède) pendant la période 1860-1869, les valeurs étant

$$M = 2,1 \cdot 10^6 D^{-3}$$

(Hägerstrand, 1957, p. 113).

Dans des études faites par la suite en Suède, beaucoup d'expressions semblables ont été calculées au moyen de formules du type Pareto, et l'intérêt s'est particuliè-

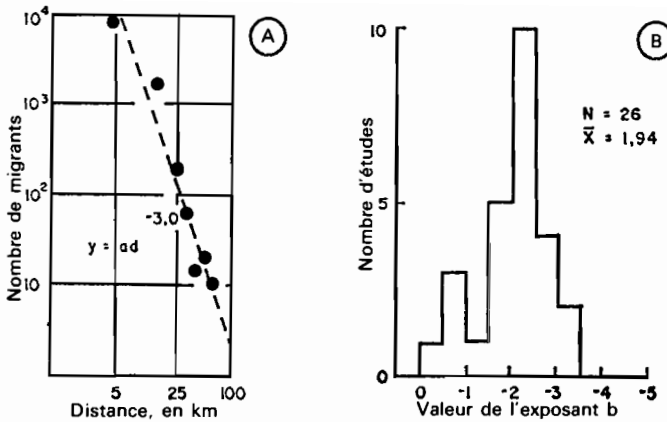


Fig. 2.3 — A. Émigration à partir d'Asby (Sud de la Suède) de 1860 à 1939. — B. Histogramme des valeurs de l'exposant dans les formules du type de celle de Pareto ajustées à des données sur les migrations, pour un choix de communes suédoises.

Source : HÄGERSTRAND, 1957, pp. 114-115.

rement porté sur la valeur de l'exposant b . Dans les études passées en revue par Hägerstrand, elle varie de 0,4 à 3,3. Les basses valeurs de b indiquent un gradient faible, avec un champ de mouvement étendu, et se rencontrent plus couramment dans les études sur des mouvements observés au xx^e siècle; les valeurs élevées de b , qui indiquent un fort gradient et un champ de mouvement restreint, sont plus caractéristiques des migrations du xix^e siècle. Il est clair que les valeurs obtenues pour b s'étendent largement autour de la valeur 2 prévue par la « loi du carré inverse », mais il est peut-être significatif que dans cet échantillon (représenté sous la forme d'un histogramme de fréquences sur la figure 2.3 B) la classe modale ait justement cette valeur. Fait significatif, la valeur moyenne, pour toutes les études, est 1,94. Les études régionales sur les migrations donnent à penser que l'hypothèse du carré inverse, si elle ne fournit pas la solution unique, est néanmoins une approximation très utile.

Les modèles d'interaction modifiés

DIFFICULTÉS DU MODÈLE DE GRAVITATION

En principe, les formules de gravitation semblent offrir un guide simple et efficace, pour prévoir les mouvements entre régions. Dans la pratique, elles se heurtent à un certain nombre de difficultés. En effet, plusieurs points ne sont pas clairs : comment définir les différentes parties de l'expression, comment les relier l'une à l'autre? Examinons le problème tel qu'il se pose pour chaque composante : la masse, la distance, et les relations entre masse et distance.

1^o *La masse* est traditionnellement assimilée à la taille de la population, dans

beaucoup d'applications du modèle de gravitation. La population a un avantage primordial, la commodité, car on peut aisément obtenir des données sur la taille de la plupart des groupes de population du monde. D'un autre côté, la population peut dissimuler des différences importantes entre régions, et on a recommandé l'emploi d'un système de pondération. Même du point de vue des concepts physiques originaux, cette pondération peut être justifiée, car, ainsi qu'Isard l'a écrit : « De même que les poids de molécules d'éléments différents sont inégaux, de même les poids de catégories diverses de gens devraient être différents. Le paysan chinois moyen n'apporte pas la même contribution ... que le citoyen des États-Unis » (Isard et al., 1960, p. 506). Des poids, définis empiriquement, de 0,8 pour la population du *Deep South*, 2 pour la population du *Far-West*, et 1 pour la population des autres régions des États-Unis indiquent approximativement ce que pourrait être l'étendue de tels « multiplicateurs » régionaux. Autre possibilité : la multiplication de la population de chaque groupement par son revenu moyen par tête apparaît comme une amélioration intéressante du système de pondération d'Isard, bien qu'elle ne fournisse pas une solution unique. En pratique, dans les études d'interaction, on a utilisé, pour mesurer la masse, des indices tels que la production de marchandises (Warntz, 1959) ou les ventes au détail (Dunn, 1956).

2° *La distance* aussi peut être mesurée de plusieurs façons. La mesure traditionnelle est simplement celle de la distance en ligne droite ou à vol d'oiseau entre deux points. Bunge (1962, p. 52) a montré par des exemples que la distance est une fonction beaucoup plus complexe, mais Yeates (1963) a constaté que la distance à vol d'oiseau peut être un instrument de mesure utile dans les régions rurales pourvues d'un bon réseau routier. Pour étudier les migrations quotidiennes, le temps, plutôt que la distance, pourrait être la mesure adéquate, de courtes distances dans les zones urbaines équivalant à des distances plus longues dans les zones rurales. Là où différents moyens de transport existent, la difficulté devient plus grande. Sur ce point, Harris (1954) a suggéré que 100 miles par camion (à 4 cents par tonne-mile) pourraient équivaloir à 160 miles par voie ferrée (à 2,5 cents par tonne-mile) ou à 1 600 miles par bateau (à 0,25 cent par tonne-mile); cependant, même ces pondérations sont compliquées par les coûts terminaux et les frais de livraison à destination.

Pour Vining (1949) et Huff (1960), la vision qu'a le migrant de l'éloignement et de la distance peut ne pas être une vision géographique simple; on peut considérer des zones proches comme fortement différenciées et des zones éloignées comme uniformes; une telle façon de voir est renforcée par le caractère curviligne des liaisons entre les coûts de transport et la distance. Selon Hägerstrand (1957), il est possible de généraliser à la fois la vision psychologique et la vision économique de la distance dans une transformation logarithmique de la distance. Il emploie une projection logarithmique azimuthale centrée sur le lieu de migration, Asby, dans le Centre de la Suède (α), pour suggérer l'impression qu'a le migrant de la distance. Le contraste entre la carte traditionnelle de Suède (fig. 2.4 A) et la carte transformée selon la projection logarithmique azimuthale (fig. 2.4 B) montre le changement radical subi par les relations spatiales : β et γ indiquent la localisation de Stockholm et de Göteborg sur les deux cartes, et δ la localisation approximative des États-Unis sur la seconde.

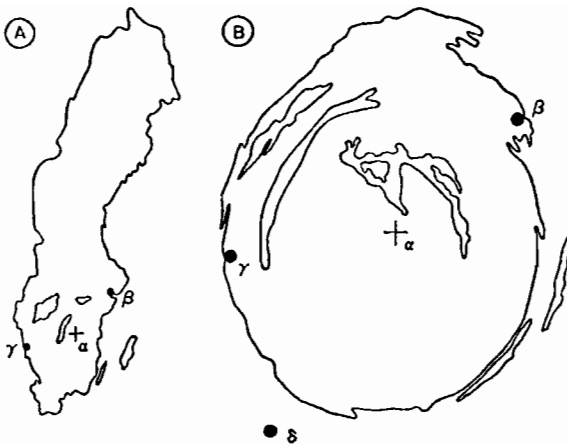


Fig. 2.4 — A. Carte de Suède traditionnelle ($G = 3,1$). — B. Transformation en une carte à distance logarithmique azimuthale centrée sur Asby.

Source : HÄGERSTRAND, 1957, p. 54.

3° *Les relations entre masse et distance* posent le troisième problème difficile. Les fonctions assez simples, proposées tant dans les modèles de gravitation que dans les modèles de Pareto, correspondent à une liaison linéaire sur papier bilogarithmique. Mais il est également possible d'ajuster une fonction quadratique, plutôt qu'une fonction linéaire, à un ensemble de données d'interaction; ceci doit modifier notre idée de l'effet d'atténuation dû à la distance (Isard et *al.*, 1960, p. 510). Helvig (1964) a corroboré ce point de vue dans une étude sur les mouvements de camions dans la région de Chicago. Il adopte une forme quadratique pour le modèle familier masse-distance, à savoir :

$$M_{ij} = 0,42 [\sqrt{P_i P_j / d_{ij}^2}]^2 + 4,9 [\sqrt{P_i P_j / d_{ij}^2}] + 160$$

Il justifie cette formule nouvelle et plus complexe de façon tout à fait empirique : elle donne un meilleur ajustement aux taux de décroissance du mouvement particulier qu'il étudie.

Il existe évidemment plusieurs façons d'adapter le modèle de gravitation, pour le rendre plus valable dans des études empiriques. Bien d'autres doutes demeurent, cependant, sur son utilité dans des situations complexes (Beckerman, 1956).

AFFINEMENTS DU MODÈLE DE GRAVITATION

Nous sommes familiarisés, en théorie économique, avec le concept *push-pull* d'offre et de demande. Ullman (*in* Thomas, 1956, pp. 862-880) a cartographié la tendance des flux matériels à se mouvoir des aires d'abondance vers les aires de rareté; Bunge (1962, pp. 121-122) suggère que l'on peut ici reconnaître un principe

plus général, le principe d'auto-répulsion tiré par Hotelling (1921) de la théorie mathématique de la conduction de la chaleur. Goodrich (1936), dans une étude sur les migrations (*Migration and Economic Opportunity*), a tracé les mouvements de population qui, à l'intérieur des États-Unis, vont des régions « peu attrayantes » vers des régions « attrayantes ».

Quelle est l'importance d'une telle *complémentarité* régionale dans la modification des relations de type gravitation? Kariel (1963) a appliqué la méthode d'analyse multivariée à l'étude de l'accroissement de population dû au bilan net des migrations, aux États-Unis, pendant la décennie 1950-1960. Comme le montre le tableau 2.1, quatre facteurs ont été testés par Kariel : trois facteurs mesuraient l'*attractivité* (augmentation du nombre des emplois dans l'industrie, revenu familial médian, proportion de membres des professions libérales et de techniciens dans la population); le facteur taille était exprimé en effectif de main-d'œuvre employée. La

TABLEAU 2.1

MODÈLES DE COMPLÉMENTARITÉ ET MOUVEMENTS MIGRATOIRES¹

Hypothèses	Décomposition de la variance
Complémentarité :	
Augmentation du nombre des emplois dans l'industrie	12 %
Revenu familial médian	12 %
Membres des professions libérales et techniciens	10 %
Taille :	
Effectif de la main-d'œuvre employée	44 %
Ensemble des quatre facteurs	47 %
Ensemble des quatre facteurs, plus ajustement aux données climatiques	55 %

1. États-Unis, 1950-1960.

Source : H. G. KARIEL, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1963, p. 210.

proportion de la variation « expliquée » par les quatre hypothèses a été mesurée par le coefficient de détermination. Ceci a confirmé de façon frappante, dans la détermination du volume des migrations, l'importance du facteur taille, qui était près de quatre fois plus grande que celle de chacun des trois autres facteurs. Même si on tient compte du fait, rappelé par Kariel, qu'il y avait à l'époque de l'étude des crises locales à court terme capables d'influer sur les résultats (par exemple dans l'industrie automobile dans la région de Detroit) le résultat obtenu par Kariel est important, car il confirme la valeur du modèle de gravitation.

Isard a essayé d'introduire cette complémentarité de régions dans le modèle de gravitation simple défini par l'inverse de la distance. Ce qu'on peut écrire :

$$M_{ij} = (P_j/d_{ij})f(Z_i)$$

Dans cette formule, M_{ij} , P_j et d_{ij} sont définis comme précédemment (cf. p. 45), et

$f(Z_i)$ est une fonction de Z_i , Z_i mesurant la force d'attraction dirigée vers i (Isard et al., 1960, p. 68). Il reste à définir en détail la « force d'attraction » dont nous pouvons seulement, ici, signaler la variabilité. Par exemple, dans les études sur les migrations, il semble clair que les agréments en général et le climat en particulier jouent un rôle croissant dans les migrations intérieures des pays les plus développés (Ullman, 1949). Ceci ajoute du poids à ce que Kariel a trouvé : le « seuil d'explication » général est élevé de 8 % (tableau 2.1) quand on ajuste les résultats de façon à prendre en compte l'attrait climatique en opposant des zones situées au nord et au sud de l'isotherme moyen d'hiver 7°2.

3. MOUVEMENT ET SURFACE : LES CONCEPTS DE CHAMP ET DE TERRITOIRE

Les aires continues de mouvement : le concept de champ

La conception des interactions présentée ci-dessus est évidemment très simplifiée : les mouvements, en fait, ne se produisent pas le long d'une ligne à une dimension, mais sur une surface à deux dimensions. En géographie humaine, nous sommes familiarisés avec de telles surfaces, sous bien des formes — la « zone d'influence » d'une ville, l'« arrière-pays » d'un port, le « champ de migration » d'une commune. Toutes ont en commun le fait de l'interaction entre un centre et sa périphérie : nous les désignerons par le terme commun de *champ*.

LA TAILLE DES CHAMPS

Les graphiques exprimant les relations entre mouvement et distance sont fréquemment tracés sur papier bilogarithmique; ainsi, l'origine du mouvement n'est jamais au point zéro. Ce fait souligne une caractéristique fondamentale des champs d'interaction : ce sont théoriquement des distributions *continues*, avec une diminution très rapide près de leur centre et une diminution très lente, presque asymptotique, vers la périphérie. On peut les appeler, en jargon statistique, « distributions leptocurtiques log-normales à deux variables », ou, de façon plus imagée, les comparer aux pics escarpés de la surface d'un gâteau d'anniversaire que l'on vient de glacer.

A cause de leur nature continue, on ne peut pas toujours définir la taille des champs par leurs limites *absolues*; mais on peut procéder à une généralisation utile en substituant le *concept de champ moyen* à celui de champ maximal ou potentiel. Ainsi, considérant la diffusion d'un journal local, on a des chances de constater que son champ est immense (quelques exemplaires sont envoyés à des émigrés, en Argentine ou à Madagascar), mais que son champ moyen est très petit : peut-être n'a-t-il pas plus de vingt kilomètres de diamètre. A propos de la région de la baie de San Francisco, Vance (1962, p. 509) a montré que, si environ 17 % des clients des centres de commerce régionaux venaient de distances supérieures à dix miles, la moitié des clients habitaient à moins de trois miles du centre. De même, bien que 1 % des visiteurs du parc national de Shenandoah vienne de plus de 2 000 miles, son champ moyen a un rayon inférieur à 300 miles (Clawson, Held et Stoddard, 1960, p. 171).

A propos des champs moyens, deux idées générales se dégagent :

1° *La taille des champs moyens varie avec la « transportabilité » de ce qui est mis en mouvement.* Ullman (in Thomas, 1956, pp. 862-880) a montré qu'aux États-Unis les différents produits se déplacent plus ou moins facilement, et que le « frottement » se manifeste par les coûts de transport relatifs. Son atlas de mouvements de marchandises (Ullman, 1957) montre clairement le contraste entre les produits. Duerr (1960, p. 167) a essayé de définir plus rigoureusement le concept de transportabilité employé par Ullman, en soutenant que l'on peut mesurer la transportabilité par la *valeur spécifique* d'un produit, c'est-à-dire sa valeur par unité de poids ou de volume.

TABLEAU 2.2

TRANSPORTABILITÉ RELATIVE DE TROIS PRODUITS

Bois en grumes	Type 1 (bois de placage)	Type 2 (bois de pulpe)	Type 3 (poteaux de mine)
Valeur spécifique (en dollars, par tonne) . . .	150	20	5
Trajet ferroviaire maximal (en miles)	400	100	25

Source : W. A. DUERR, *Fundamentals of Forestry Economics*, 1960, p. 167.

Comme le montre le tableau 2.2, les produits de faible valeur (par exemple les poteaux de mine) se déplacent normalement sur de courtes distances, tandis que les produits de grande valeur (par exemple les bois de placage) se déplacent sur des distances relativement longues. Christaller (1933) a avancé la même idée fondamentale dans son concept de « portée d'un bien ». De même les produits de faible valeur spécifique (par exemple les produits forestiers) tendent à se grouper près de la ville dans le paysage idéal de Thünen (chap. 6, section 2).

2° *La taille des champs moyens varie dans le temps.* Un accroissement rapide de la mobilité est un des traits dominants du mouvement en notre siècle. Les champs moyens liés aux mouvements de l'information, de la population et des biens ont grandi régulièrement, à mesure que les innovations techniques réduisaient le coût *relatif* de la distance. Chisholm (1962, pp. 171-197) a rassemblé plusieurs exemples de cette tendance, montrant par exemple que le coût réel de la navigation océanique s'est abaissé d'environ trois cinquièmes entre 1876 et 1955, ou que les coûts de transport par voie ferrée en Nouvelle-Zélande ont diminué d'environ un quart entre 1884 et 1956.

A propos du Royaume-Uni, le *Jack Report* (Ministère du Transport, 1961) a montré la diminution relative du coût des services d'autocars ruraux. Sur la figure 2.5 A on peut constater l'augmentation des tarifs de chemin de fer et d'autocars, pendant la période 1938-1960, par rapport à l'indice général des prix à la consommation. Malgré des augmentations récentes, le coût des deux services est resté bien au-dessous de l'indice général des prix. Un second enseignement du *Jack Report*

(figure 2.5 B) concerne l'augmentation relative des tarifs d'autocar, pendant la même période, pour trois distances (5, 10 et 15 miles) : l'augmentation a été moindre pour les longues distances que pour les courtes, de sorte que le coût relatif des voyages à longue distance a été particulièrement réduit.

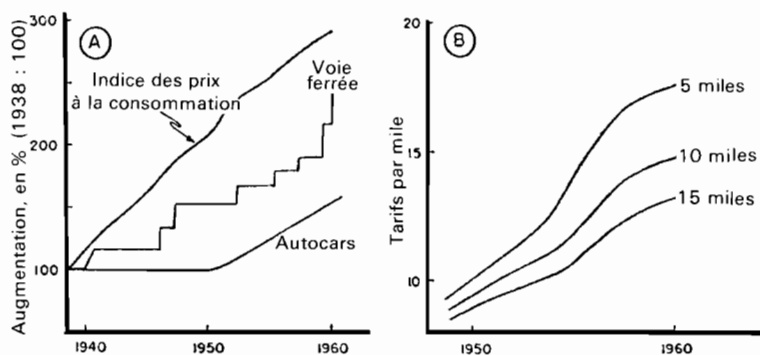


Fig. 2.5 — Exemples de changements, dans le temps, de coûts de mouvements : A. Transports de voyageurs en Grande-Bretagne. — B. Autocars en Écosse.

Source : Ministry of Transport, 1961, pp. 66-67.

Le résultat de l'abaissement des coûts relatifs des mouvements apparaît dans l'élargissement de la portée des interactions de toutes sortes. En ce qui concerne le trafic des voyageurs, la distance moyenne parcourue aux États-Unis en 1906 était de 631 miles (tableau 2.3). En un demi-siècle, cette distance a été multipliée par huit, dépassant 5 000 miles; cependant, la cause principale, ici, a été moins la réduction du coût des moyens de transport traditionnels que l'introduction de moyens entièrement nouveaux, notamment l'automobile. Vance (1960) a cartographié cet agrandissement de la zone d'interaction, pour la ville de Natick (Massachusetts).

TABLEAU 2.3

ÉVOLUTION DES MODES DE TRANSPORT, AUX ÉTATS-UNIS

	1906	1956
Longueur des voyages en miles, par tête	631	5 080
Modes de transport : proportion du total des distances parcourues (en %)		
Lignes aériennes	—	2,6
Automobiles	0,6	87,0
Voies navigables intérieures	1,5	0,2
Autocars interurbains	—	3,0
Transports publics locaux	51,0	3,9
Chemins de fer	46,9	3,3

Source : M. CLAWSON, R. B. HELD et C. H. STODDARD, *Land for the Future*, 1960, pp. 534-536.

Cet accroissement de la portée des interactions a rendu encore plus difficile le problème déjà complexe du chevauchement des champs et de leur définition. Traditionnellement, on a essayé de délimiter des champs sur la base de mesures variées. Theodorson (1961, pp. 511-594) a rassemblé une collection d'études typiques de délimitation de champs, dans lesquelles la circulation des journaux, les commerces de gros, les migrations pendulaires, les appels téléphoniques, les opérations bancaires, les services d'autocars, etc., ont été utilisés avec plus ou moins de succès. On n'a guère essayé de tester la valeur comparée des diverses mesures, et aucune conclusion générale ne définit les meilleurs indices. Ceux-ci, vraisemblablement, varient beaucoup dans le temps : les aires des services locaux d'autocars ont été largement employées pour délimiter des champs en Angleterre et au Pays de Galles (*cf.* par exemple Green, 1950), mais leur importance est nettement en voie de diminution. L'augmentation stupéfiante de l'importance des voyages en automobile aux États-Unis est bien connue (tableau 2.3); dans la Grande-Bretagne d'après-guerre, l'« explosion » automobile a introduit un élément nouveau, que l'on n'a pas pleinement compris, dans les schémas d'interaction de ce pays. Il est certain que, lorsqu'on emploie plusieurs indices pour représenter graphiquement les interactions autour du même centre, le résultat le plus probable est une « guirlande » de lignes entrelacées, comme sur la figure 2.6 A. La coïncidence exacte des limites, qui de toute façon sont arbi-

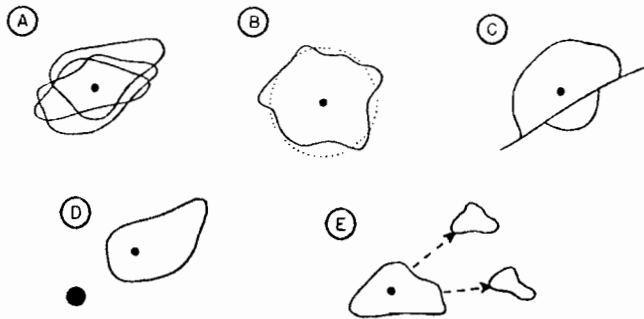


Fig. 2.6 — Types de champs de mouvement : C. Champ tronqué. — D. Champ distordu. — E. Champ fragmenté.

traires, est très rare; si on veut définir un champ par une limite synthétique unique, une solution de compromis telle que la ligne médiane peut suffire, quand on ne recherche pas une exactitude parfaite. D'autres solutions de compromis sont discutées au chapitre 9 (pp. 275-276).

LA FORME DES CHAMPS

Si on admet qu'une certaine ligne, si arbitraire et sujette à variation dans le temps soit-elle, peut être tracée autour d'un centre pour délimiter son champ, on peut faire quelques observations sur la forme de ce champ. En réalité, on fait alors une coupe

à travers la distribution de densité (parallèlement au plan sur lequel elle s'étend); théoriquement, il ne devrait donc exister de champs de forme circulaire que si la conception initiale (champs d'interaction de forme « conique ») est correcte. En fait, les études régionales empiriques ne font pas apparaître de champs vraiment circulaires; la forme la plus commune tend à être une figure fermée irrégulière semblable à une amibe. Davis (1926, p. 106) a décrit les champs comme ayant des « contours grossièrement circulaires », et on n'a guère travaillé, depuis lors, à mesurer leur forme avec plus de précision. Il est certain que la plupart des champs sont proches du cercle (fig. 2.6 B) et qu'on pourrait faire une place à des variations aléatoires (lobes, ondes et indentations) dans une théorie qui admettrait un « brouillage » aléatoire de la forme régulière. Beckmann (1958) a montré comment un facteur aléatoire permet de concilier la hiérarchie en paliers de Christaller avec la distribution log-normale (cf. pp. 141-142), et on pourrait à ce propos lui emprunter son argumentation et l'appliquer à la forme des champs.

Il existe cependant des déviations, par rapport à la forme théorique, qui sont plus sérieuses et plus persistantes. Certains champs sont brusquement tronqués, d'autres distordus d'une façon systématique, d'autres encore fragmentés. Ces formes non symétriques demandent une explication d'un type différent :

1° Une forme typique de *champ tronqué* est représentée sur la figure 2.6 C. L'exemple peut-être le plus saisissant et le mieux connu de ce type est tiré d'une étude sur la localisation des comptes bancaires d'El Paso faite par Lösch (1954, p. 448). Lösch a pu montrer, à propos d'une banque américaine située sur la frontière des États-Unis et du Mexique, qu'en 1914 le rayon de son champ était, du côté du Mexique, seulement la moitié de ce qu'il était du côté des États-Unis.

Mackay (1958-A) a donné une indication semblable sur l'effet déformant des frontières politiques. Il a comparé les interactions observées entre Montréal et des villes situées

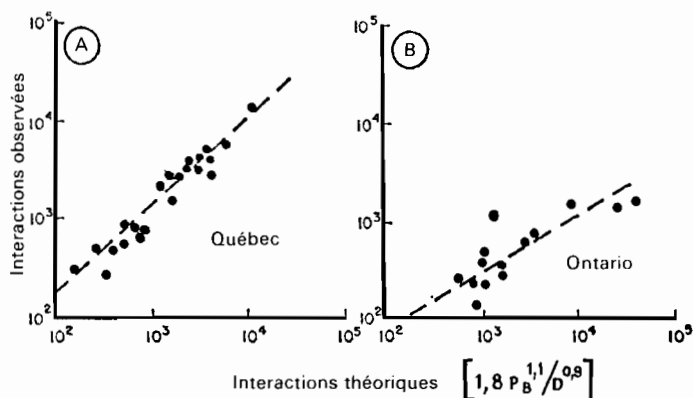


Fig. 2.7 — Effet de la limite entre le Québec et l'Ontario sur les interactions, autour de la ville de Montréal.

Source : MACKAY, 1958-A, p. 5.

tout autour (mesurées par le trafic téléphonique à longue distance) aux interactions théoriques données par l'emploi d'une formule non linéaire P/d . Ses résultats montrent que le trafic entre Montréal et d'autres villes situées dans la province de Québec (fig. 2.7 A) était de cinq à dix fois plus grand que le trafic entre Montréal et des villes ayant des valeurs P/d comparables et situées dans la province voisine, l'Ontario (fig. 2.7 B). La force avec laquelle la limite de provinces bloquait l'extension du champ de Montréal était elle-même surpassée par l'effet de blocage de la frontière internationale, vers le sud. Le trafic avec des villes comparables situées aux États-Unis était réduit à un cinquantième du trafic intérieur du Québec. La technique de Mackay permet de mesurer de façon assez claire l'effet de frontières sur le façonnement des champs, et il pourrait être utile d'étendre son emploi à d'autres régions. La troncation peut, cependant, ne pas être seulement un effet des données politiques. Vance (1962) a montré comment les aires commerciales de onze centres de commerce régionaux situés dans la région de la baie de San Francisco sont modifiées par la direction nord-sud des Coastal Ranges, et plus précisément par les droits de péage, relativement élevés, payés pour la traversée des indentations de la baie elle-même.

Un modèle graphique général, qui prend en compte l'effet de blocage de facteurs physiques et politiques, a été imaginé par Lösch (1954, p. 341). Quand la limite est politique, marquée par des augmentations de tarif, le champ potentiel de centre α est limité par la distance x , mais la forme réelle du champ tronqué peut varier. La forme probable est représentée par la figure 2.8 A, si la frontière politique peut être traversée en tous ses points, par la figure 2.8 B, si elle peut être traversée seulement en un point β (poste de douane). Si la limite n'est pas une frontière politique, mais une caractéristique naturelle (par exemple une rivière) présentant un seul point de passage β , le champ aura probablement la même forme que celui de la figure 2.8 C.

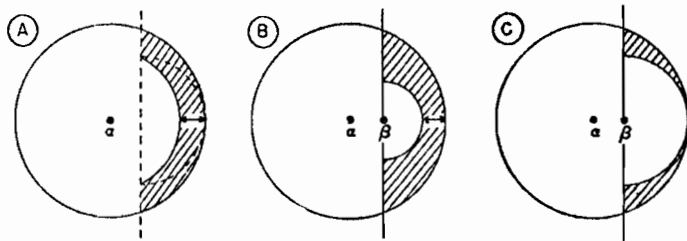


Fig. 2.8 — Effet de frontières sur la taille d'un champ centré sur α .
Source : LÖSCH, 1954, p. 341.

2° La forme des *champs distordus* peut varier davantage. Applebaum et Cohen (1961, p. 81) décrivent les aires d'influence des centres commerciaux excentriques comme ayant une forme parabolique étirée à partir du quartier central des affaires (C.B.D.). De même, Park (1929) a pu montrer que les champs de diffusion des journaux, dans une partie du centre des États-Unis (Dakota du Sud), s'étiraient asymétriquement, à partir des aires de concurrence intense. La figure 2.6 D représente un cas général de ces types de champs distordus.

Cette asymétrie peut sans doute être en partie conciliée avec les idées d'Isard et Getis (cf. *infra*, pp. 64-67) : selon ces auteurs, les champs peuvent *apparaître* distordus simplement parce qu'ils sont les transformations de champs qui, rapportés à un espace non géographique, sont réguliers. Dans le cas particulier des champs de migration, le sociologue Stouffer (1940) a soutenu que, théoriquement, il ne devrait en aucun cas exister de champs circulaires, parce qu'il n'y a pas de liaison déterministe nécessaire entre les migrations et la distance géographique. Son hypothèse peut être énoncée ainsi :

$$M_{ij} = (N_j/N_{ij}) k$$

Dans cette formule, M_{ij} est l'interaction théorique entre la localisation i et la localisation j , N_j le nombre d'occasions situées en j , N_{ij} le nombre d'occasions situées dans la zone interposée entre i et j , et k une constante. Ce modèle, le *modèle des occasions interposées*, affirme que la valeur de l'interaction, sur une distance géographique donnée, est directement proportionnelle aux occasions situées à cette distance, mais inversement proportionnelle au nombre d'occasions interposées. Ce modèle a été employé par Isbell (1944) et par Folger (1953) dans des études menées sur les migrations intérieures en Suède et dans la vallée du Tennessee (Est des États-Unis). Dans les deux cas, le modèle des occasions interposées a fourni des prévisions meilleures que le simple modèle de gravitation.

Le modèle de Stouffer donne une explication adéquate des champs distordus (fig. 2.6 D), qui tient compte à la fois de la réduction du côté intérieur du champ (les occasions interposées situées dans le centre plus important entament la surface potentielle du champ) et de l'extension de son côté extérieur (l'absence d'occasions interposées laisse au centre du champ la liberté d'étendre son influence de ce côté). Des modèles plus sophistiqués sont évidemment nécessaires; néanmoins, l'introduction des champs distordus dans les modèles généraux d'interaction a permis quelque progrès.

3° *Les champs fragmentés* consistent en une aire centrale d'un seul tenant et un ou plusieurs « écarts » qui lui sont fortement liés. La figure 2.6 E suggère la forme générale d'un tel champ. Hägerstrand (1957, pp. 126-154) a rassemblé plusieurs exemples régionaux de ce type de champ, à propos de mouvements de migration. Un des exemples les plus frappants est celui du Värmland, dans le centre de la Suède. Cette région était le point de départ principal de migrants qui allaient dans des régions proches et dans une région éloignée de 400 kilomètres, mais pas dans les régions intermédiaires. D'autres cas de discontinuités semblables sont présentés par les migrations vers Paris et vers Budapest, au niveau national, et par les concentrations d'immigrants allemands dans de petites régions bien particulières d'Amérique du Nord, au niveau international (Johnson, 1941).

Hägerstrand a constaté que trois facteurs sont communs à tous ces cas : 1° l'importance de la chaîne d'informations que constituent les relations personnelles; 2° la division des migrants en éléments *actifs* et *passifs*, ces derniers suivant les voies bien définies qu'ont tracées les premiers; 3° le facteur hasard dans le choix initial des régions. Il n'était pas possible de construire un « modèle de *feedback* » compré-

hensif, pour tenir compte de l'ensemble des trois éléments, mais Hägerstrand a proposé un modèle à court terme, défini par l'expression :

$$M_{ij} = (V_j I_j) / P_j \cdot k$$

où M_{ij} est le nombre des personnes qui migrent de i à j , V_j les disponibilités en j , I_j le niveau d'information, au point de départ i , sur ces disponibilités, P_j la population du lieu de destination j , et k une constante. Autrement dit, le volume des migrations est lié à la densité des disponibilités du lieu de destination et au niveau d'information sur cette densité. La distance, ici, est introduite indirectement, par l'intermédiaire du niveau d'information, car on dispose vraisemblablement de plus d'informations sur des lieux très proches que sur des lieux très éloignés. Hägerstrand a testé son modèle avec des données sur les migrations en Suède, en employant les méthodes de Monte-Carlo (chap. 10, section 3) pour simuler le choix aléatoire de régions et leur croissance relative. Une indication sur la remarquable réussite relative du modèle de *feedback* est donnée par le tableau 2.4, où ses prévisions sont comparées à celles d'un modèle simple d'occasions interposées.

TABLEAU 2.4

COMPARAISON ENTRE LE MODÈLE DES OCCASIONS INTERPOSÉES
ET LE MODÈLE DE « FEEDBACK » A PROPOS DE LA PRÉVISION
DE MIGRATIONS¹

	Zones de distance (en km)				
	0-19	20-39	40-59	60-79	80-99
Migrations observées	86	132	42	18	12
Migrations prévues par le modèle :					
— des occasions interposées	105	89	39 ²	29	29
— de <i>feedback</i>	89 ²	131 ²	41 ²	17 ²	13 ²

1. Dädesjö, Suède, 1946-1950.

2. Estimations dont l'écart par rapport aux migrations observées est inférieur à 10 %.

Source : T. HAGERSTRAND, in *Lund Studies in Geography*, 13, 1957, pp. 125, 133.

Les aires limitées de mouvement : le concept de territoire

Les champs continus, variables dans le temps, sont la forme dominante d'organisation des systèmes régionaux, mais ils posent des problèmes administratifs si ardues que les sociétés établissent des limites (à la place des continuités) et des territoires bien distincts qui ne se chevauchent pas (à la place des champs indistincts et qui se chevauchent). Les aires politiques sont une réponse évidente à ce problème, mais non la seule : le diocèse ecclésiastique en Angleterre, l'*oblast* de planification en

Russie soviétique, l'aire tribale chez les Amérindiens du Brésil sont autant de réponses à ce problème commun. Certes, il existe des différences entre la paroisse et l'État, mais l'un et l'autre comportent la notion de propriété, et nous les désignons ici par le terme général de territoire. Ce concept de territoire se rencontre couramment en biologie (Howard, 1920; Wynne-Edwards, 1962).

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE DU PAVAGE

Quand il s'agit de territoires distincts, le problème fondamental consiste à répartir efficacement des surfaces entre des centres concurrents; l'efficacité peut se définir de deux façons : l'efficacité de mouvement, mesurée par la distance entre le centre et les secteurs périphériques, à l'intérieur du territoire, et l'efficacité des limites, mesurée par le périmètre du territoire. Ce second critère, important en pratique car il représente des frais de clôture pour l'exploitation agricole ou des frais de défense pour l'État, n'est pas pertinent quand il s'agit de champs continus.

Trois principes géométriques ont de l'importance, dans l'application de ces critères d'énergie minimale à la division d'une surface (Coxeter, 1961) :

1° Les polygones réguliers sont des formes plus économiques que les polygones irréguliers. Soit par exemple le polygone à quatre côtés; s'il s'agit d'un carré d'un kilomètre carré, le mouvement le plus long (c'est-à-dire le mouvement allant du centre au point le plus éloigné situé dans le carré) est de 0,707 km; le périmètre est de 4 km. Si on transforme ce carré en un rectangle de surface égale mais dont deux côtés sont deux fois plus longs que les autres, le mouvement le plus long atteint 1,031 km, et le périmètre 5 km. L'expérience montre que plus le contraste est grand entre les côtés du rectangle, moins ce dernier est économique, tant du point de vue de l'accessibilité à partir du centre que du point de vue de la longueur du périmètre.

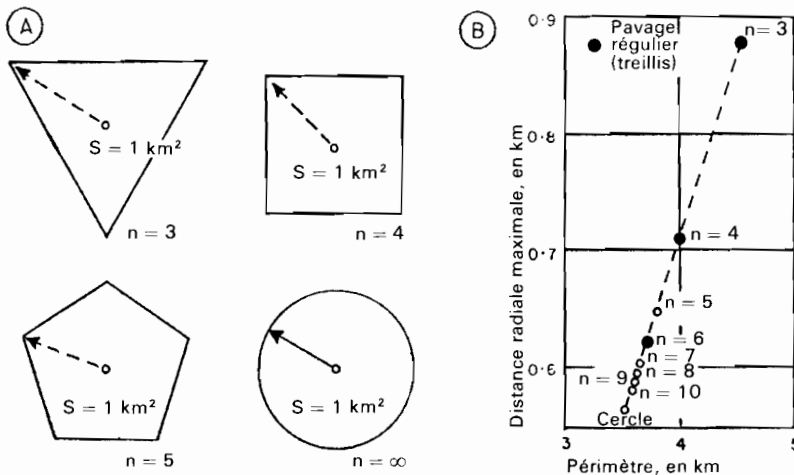


Fig. 2.9 — Efficacité de divers types de polygones réguliers, en liaison avec la distance au centre et la longueur du périmètre.

2° Les cercles sont les plus économiques des polygones réguliers. Si on imagine une suite de polygones réguliers commençant par le triangle (3 angles) : le carré (4 angles), le pentagone (5 angles), l'hexagone (6 angles), etc., on augmente d'un, à chaque étape, le nombre de côtés et de sommets. Le cas limite est évidemment celui du cercle, que l'on peut considérer comme un polygone régulier ayant un nombre infini de côtés et de sommets. Si on examine cette suite (fig. 2.9 A), on constate, à surface constante, que l'accessibilité à partir du centre, mesurée par la *distance radiale maximale*, s'améliore, et que le périmètre diminue. La liaison entre ces deux paramètres est représentée graphiquement par la figure 2.9 B; il est important de noter que les progrès ne sont pas réguliers : l'efficacité du carré est à peu près égale à la moitié de celle du cercle, et l'efficacité du décagone est à peu près égale à 90 % de celle du cercle.

3° Les hexagones sont les polygones réguliers permettant le meilleur pavage d'une surface, celui qui minimise les coûts de mouvement et de limites. La figure 2.10 illustre le problème que pose le pavage d'une surface donnée par des champs circulaires :

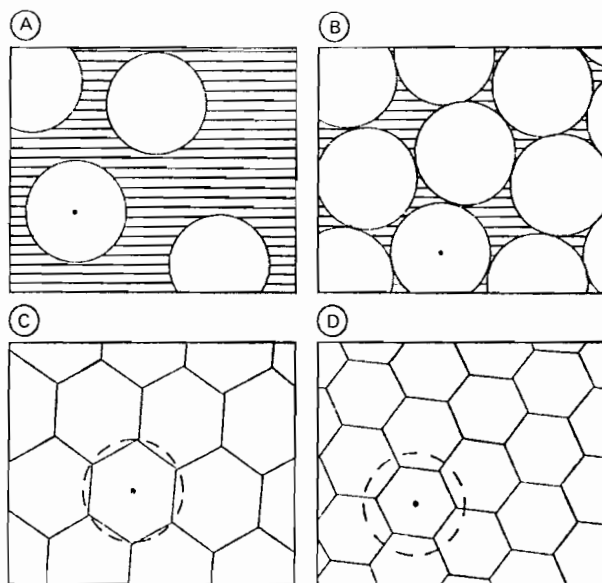


Fig. 2.10 — Formation d'un pavage à partir de centres, au cours de la colonisation d'une plaine, aboutissant à des territoires hexagonaux.

Source : LÖSCH, 1954, p. 110.

le grisé montre son inefficacité, mesurée par les surfaces inutilisées qui s'étendent entre les cercles. Le problème du remplissage d'un plan par les polygones réguliers de surface égale a d'abord été étudié au début du XVII^e siècle par Kepler, qui a indiqué l'existence de trois solutions : le triangle équilatéral, le carré et l'hexagone régulier. De ces trois *mosaïques régulières* (Coxeter, 1961, pp. 61-64), l'hexagone conserve

au mieux les avantages du cercle. En effet, comme le montre la figure 2.9 B, l'efficacité de l'hexagone ($n = 6$) est à peu près égale aux quatre cinquièmes de celle du cercle, du point de vue de la distance radiale maximale et du point de vue du périmètre.

Depuis les Grecs, les hexagones ont fasciné les naturalistes et les mathématiciens; le concept de symétrie hexagonale a joué un rôle clé dans le développement de la cristallographie, et Thompson (1961, pp. 102-125) a montré son importance dans l'ensemble des sciences biologiques. Il n'est donc pas surprenant que les deux principaux ouvrages théoriques sur les types d'habitat et leurs domaines de subsistance, *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*, de Christaller (1933, Baskin, 1957) et *Die Räumliche Ordnung der Wirtschaft*, de Lösch (1940; 1954), aient employé l'hexagone comme module pour leurs modèles de structure de l'habitat. Ces derniers sont discutés au chapitre 5.

ÉTUDES RÉGIONALES DE PAVAGES

Malgré la grande importance théorique de l'hexagone, on a rarement recherché l'existence réelle de dispositions en hexagones. Les cartes de territoires tels que comtés, communes ou États donnent une impression d'irrégularité et de complexité. A titre de vérification, un échantillon de 100 comtés d'un pays, le Brésil, a été tiré en employant la méthode des nombres au hasard, et ses caractéristiques de pavage étudiées. Puisque ce pays avait, en 1960, quelque 2 800 comtés (*municípios*) et puisque, à la différence des États-Unis qui ont leur système de *township and range* (cf. pp. 103-104), il n'a pas disposé ses unités administratives selon des lignes géométriques, le Brésil représente, pour une telle vérification, un échantillon que l'on peut raisonnablement considérer comme sans biais.

Un indice simple de forme, S , a été employé pour mesurer les caractéristiques de forme de l'échantillon brésilien :

$$S = (1,27 A)/l^2$$

Dans cette formule, A est la surface du comté en km^2 , et l la longueur du grand axe du comté, défini comme étant le segment de droite joignant les deux points du périmètre les plus distants l'un de l'autre. Le multiplicateur (1,27) règle l'indice de façon qu'il ait la valeur 1 pour un cercle, et des valeurs allant de 1 à zéro en général.

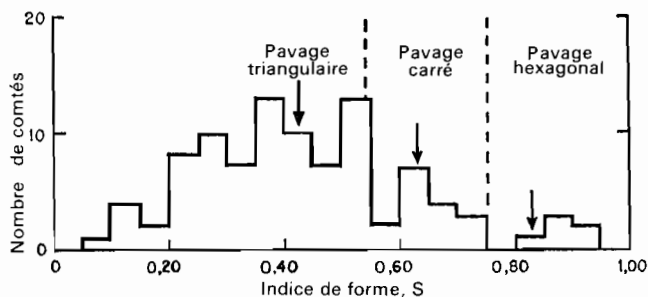


Fig. 2.11 — Caractéristiques de forme d'un échantillon de 100 comtés du Brésil. Les parties de la distribution sont rapportées aux pavages réguliers.

Les valeurs réelles obtenues par cette méthode sont représentées sur la figure 2.11; elles vont de valeurs aussi faibles que 0,06 (pour des comtés très allongés) à des valeurs aussi élevées que 0,93 (pour des comtés compacts, quasi circulaires). Dans ce système de mesure, les valeurs obtenues pour les trois pavages réguliers (ou treillis) sont : 0,42 pour le pavage triangulaire, 0,64 pour le pavage carré et 0,83 pour le pavage hexagonal; des lignes limites sont interpolées sur la figure 2.11, de façon à diviser la distribution en trois parties définies par rapport à ces valeurs. Les résultats suggèrent avec force la nature, généralement allongée, des comtés. Cependant, la possibilité d'une correspondance des limites entre pavages avec des solutions de continuité existant dans la distribution de fréquences peut suggérer que les formes tendent à se grouper autour des trois mosaïques possibles proposées par Kepler.

Une deuxième caractéristique associée à la mosaïque hexagonale régulière est le nombre de contacts entre un territoire quelconque et les territoires adjacents. Dans un système hexagonal régulier, le *nombre de contacts* serait évidemment 6, étant donné qu'une aire serait contiguë à ses 6 voisines, dont chacune aurait à son tour 6 voisines.

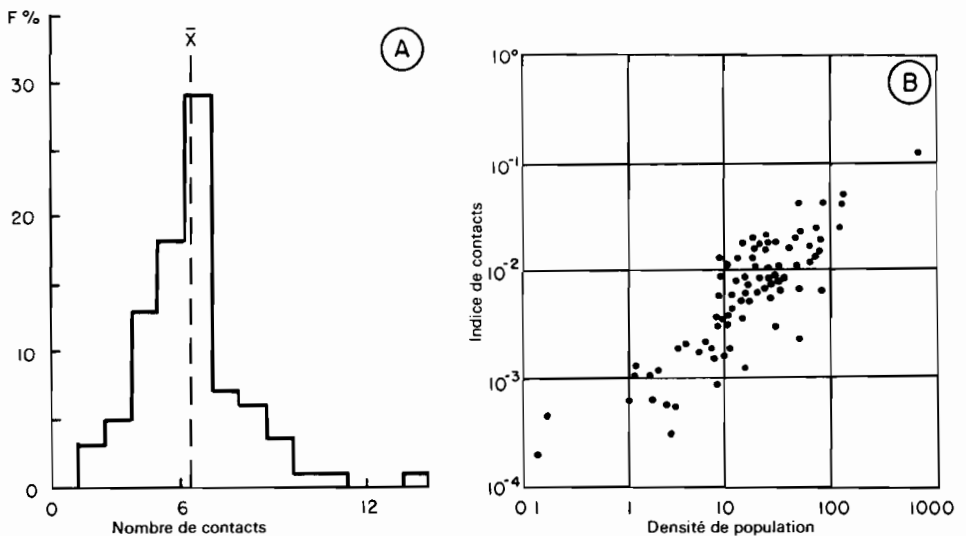


Fig. 2.12 — A. Histogramme des nombres de contacts de 100 comtés du Brésil. — B. Liaison entre les nombres de contacts et la densité de population.

Les comtés qui touchent les côtes et les frontières internationales, ayant des champs tronqués, ont été éliminés de l'échantillon; les 84 comtés restants ont été examinés et leurs nombres de contacts enregistrés. La courbe de fréquence des résultats (fig. 2.12 A) montre que près d'un comté sur trois a exactement six voisins, bien que le nombre de contacts varie de deux à quatorze. Le nombre de contacts moyen de l'échantillon est 5,71. Ce résultat est, de façon frappante, proche du nombre 6 correspondant à l'hexagone proposé par Christaller et Lösch; ce fait donne à penser qu'on s'est peut-être trop hâté de critiquer, le trouvant trop théorique, le système hexa-

gonal. Des comptages préliminaires d'aires administratives, en France et en Chine, confirment que le chiffre obtenu pour le Brésil n'est pas exceptionnel, mais on devra pousser plus loin les recherches pour être sûr d'avoir isolé une constante de l'organisation territoriale.

Dans l'échantillon brésilien, les comtés ayant une forte densité de population formaient un pavage plus serré et avaient donc un nombre de contacts plus grand que les aires faiblement peuplées. La figure 2.12 B représente graphiquement la liaison entre l'*indice de contacts* (nombre de contacts/surface du comté) et la densité de population de chaque comté; elle est positive. Cette liaison a été étudiée, pour une période de quatre-vingt-dix ans, pour un des États du Brésil (Santa Catarina) : à mesure que la densité de population augmentait, les comtés sont devenus plus petits (fig. 2.13) et les nombres de contacts se sont élevés de 3,50 en 1872 à 5,22 en 1960. Le fait que les nombres sont faibles, pour cette dernière période, par rapport à ceux obtenus pour le reste du Brésil, est dû à la nature de l'échantillon : tous les comtés (y compris ceux qui sont situés sur les côtes et sur les limites d'États) ont été étudiés. Reste à voir jusqu'à quel point on peut interpréter de façon rationnelle l'augmentation, dans le temps, de la conformité avec la théorie de l'« énergie minimale ».

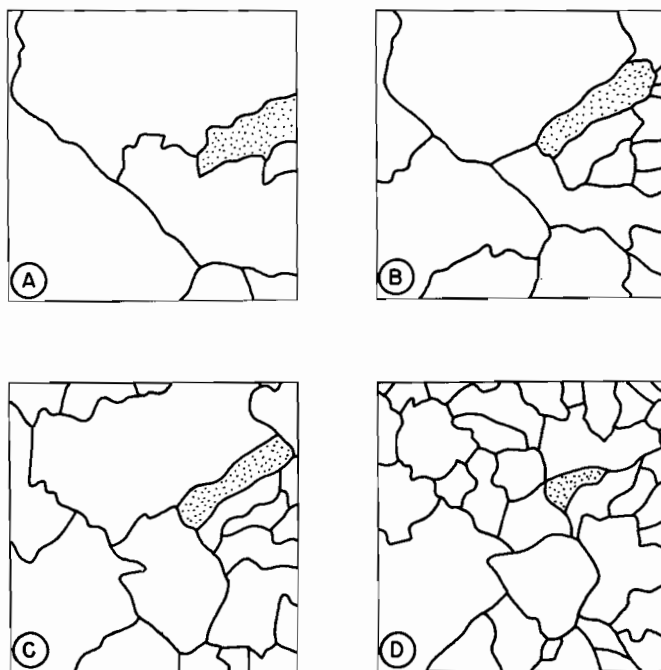


Fig. 2.13 — Progression de la division territoriale d'un carré échantillon ($G = 4,9$) situé dans l'État de Santa Catarina, Brésil : A. 1872. — B. 1907. — C. 1930. — D. 1960.

Source : BUCHÉLE, 1958.

LES MODIFICATIONS DU MODÈLE HEXAGONAL

Isard (1956) a montré que le schéma régulier, formé d'hexagones de surface égale, proposé par Christaller et Lösch, a peu de chances de se réaliser en pratique. Par suite de la forte densité de population postulée par Lösch dans le noyau central, la taille de l'aire de marché doit vraisemblablement y être plus petite; loin du noyau central, elle doit être plus grande. Isard a présenté un dessin (fig. 2.14) qui conserve autant que possible les hypothèses du système de Lösch, mais qui introduit cette idée de centres définissant un pavage plus serré près du point de polarisation général.

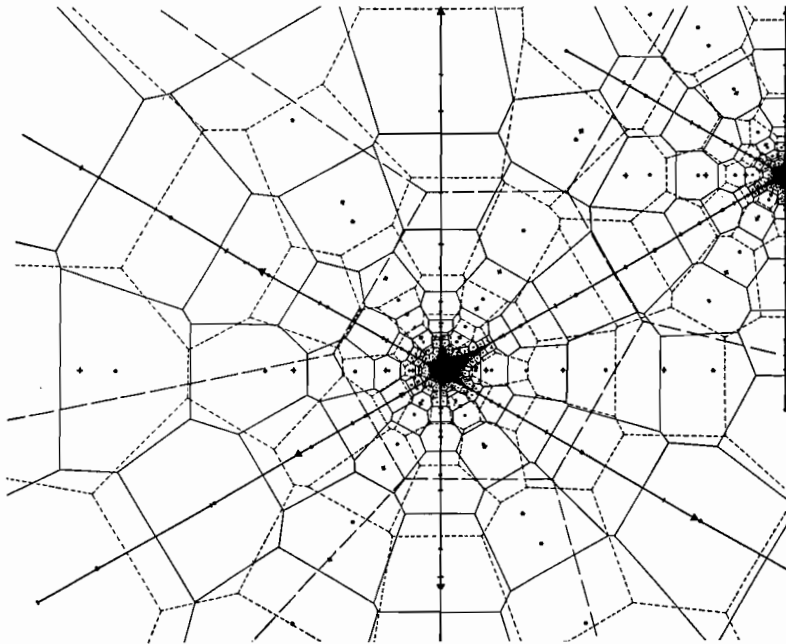


Fig. 2.14 — Système de territoires hexagonaux, modifiés par l'existence d'une agglomération, selon Lösch.

Source : ISARD, 1956, p. 272.

On éproue la plus grande difficulté à se servir de la forme hexagonale, et, comme la figure le montre, il est impossible de conserver à la fois l'hexagone et les « économies d'urbanisation ». Pour Isard, l'hexagone est un pur concept, comme la « concurrence parfaite » des économistes. Il perd sa signification, en tant que forme spatiale, dès que les inéluctables forces d'agglomération — elles-mêmes inhérentes au système de Lösch — peuvent agir.

Une confirmation du changement de la taille des territoires avec l'éloignement des centres urbains de forte densité est fournie par le Brésil. En employant le même échantillon de 100 comtés brésiliens (*cf. supra*, pp. 61-63), on a étudié la relation

entre la taille des territoires et la densité de population. On a ainsi constaté que la distribution des surfaces des comtés était approximativement log-normale, allant de quelques très grandes surfaces (par exemple, Sena Madureira, dans le territoire d'Acre, en haute Amazonie, a une surface de 46 000 km²) à des surfaces aussi faibles que celles des circonscriptions de Londres, dans la région de Rio de Janeiro. La taille des comtés est en corrélation assez forte, mais inverse, avec la densité de population (fig. 2.15), de sorte que les champs étendus se rencontrent dans les régions faiblement peuplées, tandis que les petits champs caractérisent les régions de population dense.

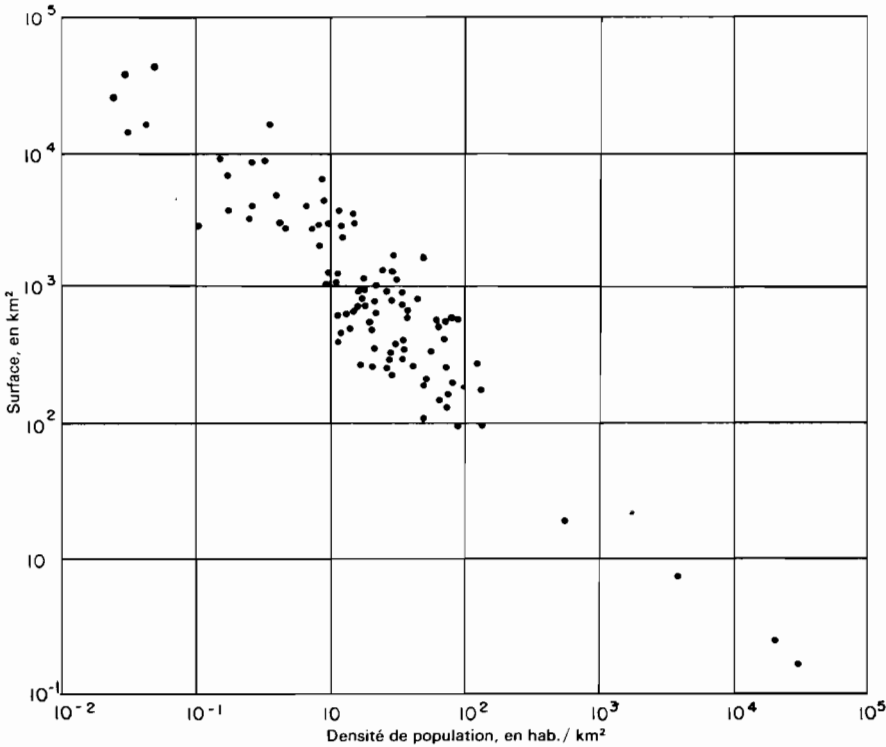


Fig. 2.15 — Liaison entre la taille et la densité de population de 100 comtés du Brésil, choisis par échantillonnage.

D'ailleurs, ce phénomène n'apparaît pas comme limité au Brésil : les cartes des comtés des États-Unis, ou les cartes des paroisses de Grande-Bretagne, indiquent une tendance généralement semblable.

Une deuxième confirmation de la modification proposée par Isard est donnée par une étude de Getis (1963) sur la partie sud-est de la ville de Tacoma, située aux États-Unis. Getis a étudié la répartition des magasins dans cette aire urbaine, en se référant à la théorie de la localisation ; il a constaté que le schéma géographique « normal » présenté par les divisions régulières du système de *township and range*

(fig. 2.16 A) ne suggérait guère l'existence de constantes dans la répartition des magasins dans l'ensemble de l'aire. Il a calculé le montant des revenus, pour chacune des 48 cases situées dans cette aire, et dessiné une carte (fig. 2.16 B) où la taille de chaque case est proportionnelle à la somme des revenus de ses habitants. Ainsi, la case α , où les revenus sont élevés, a une grande surface, et la case β , où les revenus sont bas, a une petite surface. Sur cette carte, la répartition des magasins se montre beaucoup plus régulière.

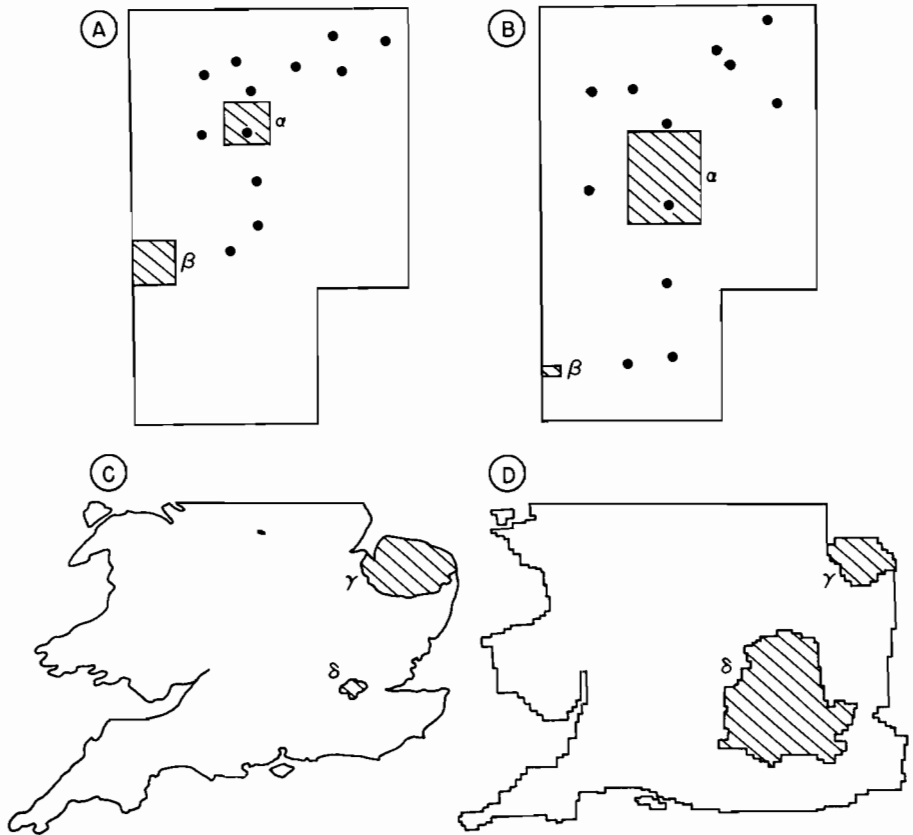


Fig. 2.16 — Transformation de cartes traditionnelles en espace de revenus et espace de population : A et B. Transformation d'un secteur échantillon ($G = 7,2$) de la ville de Tacoma, aux États-Unis, en carte d'espace de revenus. — C et D. Transformation du Sud de l'Angleterre ($G = 3,8$) en carte d'espace de population.

Sources : GETIS, 1963, pp. 18, 20; *The Times*, Londres, 19 octobre 1964, p. 18.

Il est clair que la taille et la forme générale des deux cartes sont les mêmes : seules ont changé les divisions internes, les cases. Getis a réalisé une transformation de l'espace normal, ou géographique, en un *espace de revenus*. Comme Tobler (1963)

l'a montré, il existe plusieurs projections ou transformations de ce genre, qui pourraient s'avérer utiles pour tester la théorie de la localisation. A propos d'un *espace de population* concernant le Sud de la Grande-Bretagne, la figure 2.16 C représente la forme géographique familière, et la figure 2.16 D une transformation de cette forme, faite sur la base du nombre des citoyens inscrits dans les districts électoraux en 1964; le changement relatif de la taille des comtés de Norfolk (γ) et de Londres (δ) montre l'importance de la distorsion; dans ce cas, on a conservé la contiguïté entre districts électoraux, mais on a admis une distorsion des contours de l'aire représentée.

On a pu soutenir, tant d'après l'étude d'Isard que d'après celle de Getis, qu'il ne faut pas s'attendre, en général, à voir des territoires hexagonaux réguliers à la surface de la terre, car ils se rapportent non à l'espace géographique, mais à l'espace de population ou à l'espace de revenus. On peut donc penser que les hexagones sont latents dans la plupart des manifestations de l'organisation humaine, mais que c'est seulement par des transformations appropriées de l'espace géographique qu'on a des chances de rendre leur forme visible.

4. MOUVEMENT ET TEMPS : LE CONCEPT DE DIFFUSION

Études régionales de diffusion

L'étude des phénomènes de diffusion représente une part importante de la recherche géographique des cent dernières années. Exposant le développement de la géographie historique aux États-Unis, Clark (*in* James, Jones et Wright, 1954, p. 86) a indiqué l'importance prise à cet égard par l'« école de Berkeley », sous l'impulsion de Carl Sauer. Sauer lui-même a fourni une importante étude de diffusion, à l'échelle mondiale, avec son ouvrage : *Agricultural Origins and Dispersals*; ses élèves (par exemple Stanislawski (1946), qui a étudié la diffusion de la ville à plan en damier à travers les Amériques) ont suivi la trace de l'homme et de ses innovations dans un vaste cadre spatial et temporel.

C'est aux États-Unis que l'historien Frederick Jackson Turner a développé son grand thème de la « frontière » dans l'histoire américaine, thème repris par Webb (1927) dans son étude régionale classique sur les prairies du centre des États-Unis, *The Great Plains*. La thèse de Turner sur la frontière était simple. Il voyait la marée des innovations progressant inexorablement du centre vers l'extérieur : « Arrêtez-vous au col du Cumberland, et observez le cortège de la civilisation, marchant à la file indienne — le bison suivant la piste vers les sources salées, l'Indien, le chasseur-marchand de fourrures, l'éleveur de bétail, l'agriculteur-pionnier — et la frontière est passée. Arrêtez-vous au South Pass, dans les Rocheuses, un siècle plus tard, et voyez le même cortège, passant à intervalles plus grands » (Turner, 1920, p. 12).

Gulley (1959) et Mikesell (1960) ont montré comment les idées de Turner se sont répandues rapidement hors de l'Amérique du Nord. Elles ont été appliquées avec enthousiasme, mais sans discernement, à des mouvements aussi dissemblables que

la colonisation de la Sibérie par les Russes et l'occupation de l'Europe par les Romains, et ont largement couvert, dans le temps et l'espace, les migrations humaines. Comme le cycle davisien en géomorphologie, le concept de frontière a été affaibli par son extension à des aspects de l'évolution historique qui allaient bien au-delà de son champ d'application; au cours des dernières années, il a subi de sévères critiques de la part d'historiens. Néanmoins, il a joué un rôle important dans le développement de la géographie humaine, entre les deux guerres mondiales. Aux États-Unis, Isaiah Bowman a animé une école active, qui s'est intéressée aux fronts pionniers situés dans diverses parties du monde; les résultats, publiés par l'*American Geographical Society*, par exemple *The Pioneer Fringe* (Bowman, 1931) et *Pioneer Settlement* (Joerg, 1932), sont devenus des classiques de cette période. Après la guerre, la puissante vague d'urbanisation a entraîné un affaiblissement de l'intérêt pour l'extension du peuplement rural, à quelques remarquables exceptions près (cf. par exemple Parsons, 1949; Farmer, 1957).

De leur côté, les sociologues se sont intéressés à la propagation des idées dans une société, au rôle des leaders dans le lancement des innovations, et au problème de la résistance au changement. Rogers (1962) a passé en revue quelques centaines d'études de ce genre, dont une grande part est consacrée à l'innovation technique dans les communautés agricoles des États-Unis, mais dont certaines remontent dans le passé jusqu'à inclure les vitesses de diffusion au Néolithique (Edmondson, 1961). La liaison entre ce type d'étude sociologique (très proche des études de marché et de résistance aux ventes), la recherche historique de l'école de Turner et les études géographiques sur la diffusion faites par l'école de Berkeley, a été établie par un groupe de géographes suédois.

Les modèles de diffusion

Les travaux faits en Suède sont particulièrement importants en géographie humaine, tant pour leurs résultats de détail, trouvés empiriquement dans une des régions d'Europe où les mouvements de population ont été enregistrés le plus longtemps et avec le plus de précision, que pour leur contenu théorique. En gros, deux sortes de modèles ont été élaborés : un modèle inductif, qui essaie d'organiser l'information existante autour de la forme géographique des ondes de diffusion, et un modèle stochastique, qui propose un mécanisme propre à les expliquer.

LES MODÈLES INDUCTIFS

Hägerstrand (1952) a proposé un modèle à quatre stades pour étudier le passage de ce qu'il appelle les « ondes d'innovation » (*innovationsförloppet*). A partir des cartes isarithmiques de la diffusion de diverses innovations en Suède, allant des lignes d'autobus (Godlund, 1956) aux méthodes agricoles, il a construit une série de profils transversaux. L'étude des profils a suggéré l'existence de certains schémas, qui se répètent dans le processus de diffusion. La figure 2.17 A représente un profil, où le taux d'innovation, c'est-à-dire la proportion de la population possédant l'élé-

ment nouvellement introduit, est porté en ordonnée, sur l'échelle logarithmique, la distance étant portée en abscisse; le point α est le centre d'innovation, et les points β et γ sont des localisations de plus en plus éloignées de ce centre.

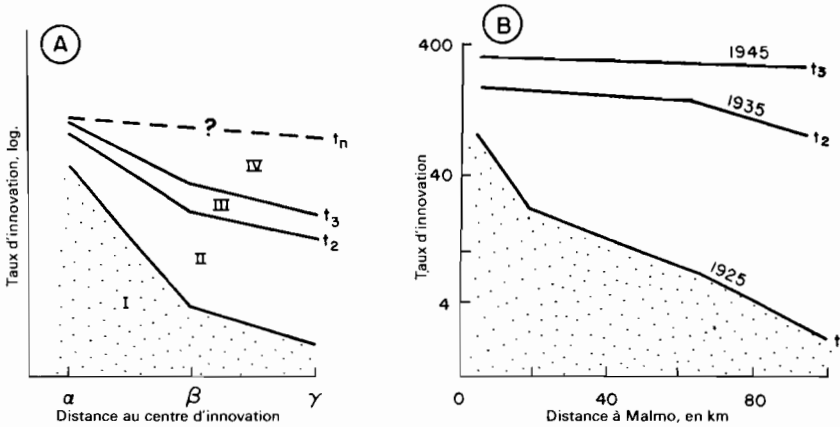


Fig. 2.17 — Profils hypothétiques (A) et réels (B) d'ondes d'innovation.
Source : HÄGERSTRAND, 1952, pp. 13, 17.

Les quatre stades sont indiqués par les profils I à IV sur la figure 2.17 A : le stade I, appelé stade *primaire*, montre le début du processus de diffusion, avec un fort contraste entre les centres innovateurs et les zones éloignées; le stade II, ou stade de *diffusion*, représente le processus de diffusion proprement dit, dans lequel existe un fort effet centrifuge, avec la création de nouveaux centres en croissance rapide dans les zones éloignées et une diminution des forts contrastes régionaux du stade I; au stade III, ou stade de *condensation*, l'augmentation relative est égale dans les trois localisations; au stade IV, ou stade de *saturation*, il existe une augmentation générale mais lente, asymptotique, vers le maximum réalisable dans les conditions existantes.

La figure 2.17 B, illustration de ce processus, représente la diffusion d'une innovation récente (les récepteurs radio) le long d'un profil allant de Malmö à Hässleholm, dans le Sud de la Suède, entre 1925 et 1947. Le stade de saturation paraît atteint vers 1945.

LES MODÈLES STOCHASTIQUES

Le modèle des ondes d'innovation de Hägerstrand visait, en grande partie, à constituer une synthèse descriptive des nombreux cas particuliers de mouvements de diffusion dans le temps décrits par les historiens et les sociologues. Depuis 1952, Hägerstrand a continué à étudier les ondes de diffusion, en employant des méthodes dynamiques de simulation, parmi lesquelles la méthode de Monte-Carlo joue un rôle important. Ce modèle de *feedback* a été discuté de façon générale ci-dessus (pp. 57-58); les fondements de la méthode de Monte-Carlo sont exposés dans la section 3 du chapitre 10.

LES MOUVEMENTS

Le modèle stochastique de diffusion qui est peut-être le plus simple a son origine dans les travaux de Neyman et Scott (1957). Ces derniers présentent l'idée que la distribution spatiale d'une population sur un « plan d'habitat » de base dépend du jeu réciproque de quatre forces : 1^o la distribution aléatoire de « centres de groupement » où naissent les enfants d'une génération; 2^o la variation aléatoire du nombre des enfants; 3^o les mécanismes aléatoires de dispersion; 4^o le mécanisme aléatoire de survie jusqu'à un moment fixé à l'avance. Critiquant cette démarche, Skellam a fait remarquer que ce processus aléatoire conduirait, à la longue, à une distribution leptocurtique normale, et qu'il est nécessaire d'introduire un mécanisme dépendant de la densité, pour empêcher la formation de densités excessives dans le centre.

Ce procédé stochastique d'étude des processus de diffusion a des implications importantes en dehors de la géographie humaine. La *Mathematical Theory of Epidemics*, de Bailey (1957), emploie la théorie des probabilités pour prévoir la propagation des maladies, et Hägerstrand (1953, 1957) utilise des techniques semblables pour rendre compte de la propagation des idées. La figure 2.18 représente six stades de la diffusion de l'information, d'après un modèle de propagation aléatoire. Dans

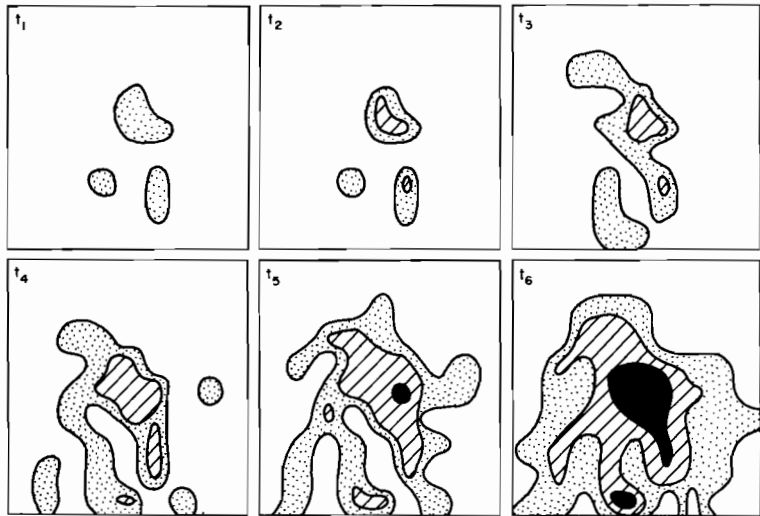


Fig. 2.18 — Diffusion en surface d'une innovation hypothétique, au cours de périodes successives t_1, t_2, \dots, t_6 .

Source : HÄGERSTRAND, 1953; BUNGE, 1962, p. 118.

ce cas, le schéma, bien que théorique, ressemble fort aux schémas historiques réels de diffusion (du peuplement, des voies de communication, des zones d'utilisation) décrits dans les chapitres suivants.

Une des plus intéressantes applications des idées de Hägerstrand sur les ondes de diffusion a été faite par Yuill (1965), qui a employé la méthode de simulation de Monte-Carlo, programmée pour un ordinateur I.B.M. 7090. Yuill a étudié l'effet de quatre types d'obstacles sur la diffusion de l'information à l'intérieur d'une matrice de quelque 540 cases, en employant une grille mobile de 9 cases (à comparer avec la grille mobile de 25 cases représentée sur la figure 4.7). La figure 2.19 A représente la grille mobile de 9 cases, où les *cases-obstacles* sont en pointillé, les *émetteurs* représentés par de gros points, et la *diffusion* (c'est-à-dire l'émission de l'information) par des flèches. Quatre types de cases-obstacles sont envisagés, et rangés par ordre

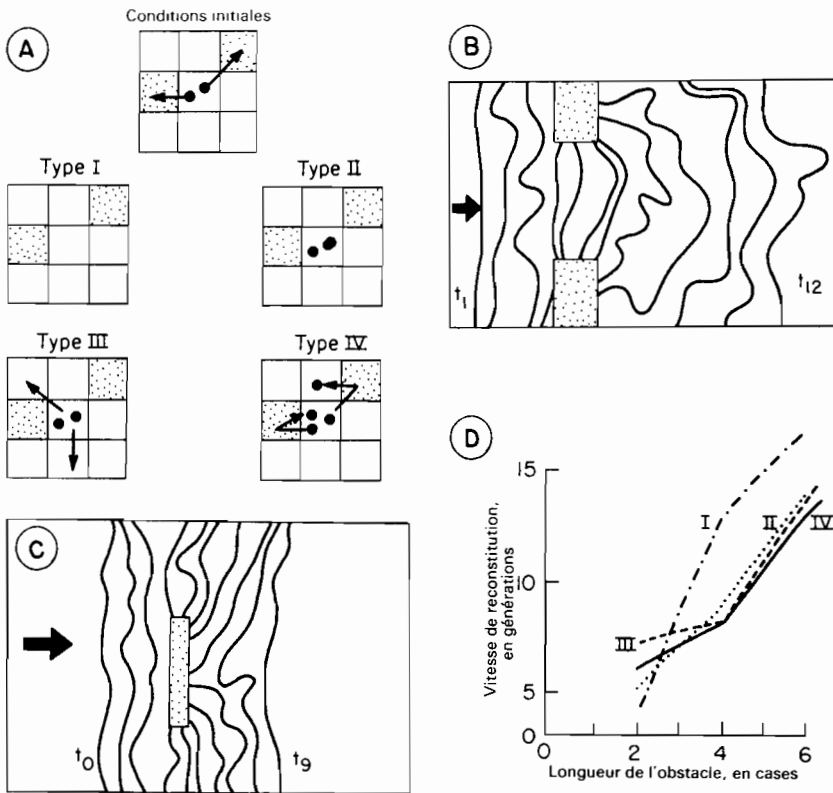


Fig. 2.19 — A. Quatre types de cases obstacles employés dans le modèle de simulation. — B. Ondes de diffusion passant à travers une ouverture pratiquée dans un obstacle en forme de barre. — C. Ondes de diffusion passant autour d'un obstacle en forme de barre. — D. Vitesses de reconstitution autour d'obstacles en forme de barres.

Source : YUILL, 1965, pp. 19, 25, 29.

décroissant d'après leur efficacité en tant qu'obstacles : le type I, obstacle « très absorbant », absorbe la diffusion et détruit les émetteurs; le type II, obstacle « absorbant », absorbe la diffusion mais n'affecte pas les émetteurs; le type III, obstacle

« réfléchissant », n'absorbe pas la diffusion mais permet à l'émetteur de lancer une nouvelle diffusion au cours de la même génération (voir les flèches); le type IV, obstacle « directement réfléchissant » ou « miroir », n'absorbe pas la diffusion mais la réfléchit vers la plus proche des cases accessibles à l'émetteur. Chaque situation a été programmée séparément, et les résultats portés sur un graphique par l'imprimante de l'ordinateur. La figure 2.19 B représente la progression d'une onde linéaire de diffusion à travers un trou pratiqué dans un obstacle en forme de barre; la « vitesse de reconstitution » (c'est-à-dire le nombre de générations, t_0 , t_1 , ... t_n) a été enregistrée, pour différents types d'obstacles et différentes largeurs du trou; dans le cas représenté, la forme du front de l'onde est reconstituée à peu près à la onzième génération (t_{11}). Une variante de l'obstacle en forme de barre est représentée sur la figure 2.19 C : l'onde de diffusion passe autour d'une barre, et se reforme au bout de neuf générations environ. Ici, la vitesse de reconstitution est directement liée à la fois à la longueur et au type de l'obstacle; la courbe correspondant au type I (obstacle très absorbant) contraste fortement avec celles qui correspondent aux trois autres types (fig. 2.19 D).

Bien que les résultats obtenus aient été limités par le nombre des postulats et par la taille de l'ordinateur, cette étude de Yuill a révélé les possibilités passionnantes de la simulation, qui intéressent directement les spécialistes de géographie historique. On a longtemps discuté du rôle des Appalaches, des Blue Mountains, ou de la Serra do Mar comme freins des mouvements d'expansion du peuplement vers l'intérieur, à partir des lignes de base que constituaient les côtes américaine, australienne et brésilienne; l'étude de Yuill permet de penser qu'il est possible d'élaborer des modèles de simulation plus compliqués, qui pourraient donner des réponses plus précises à ces questions. A l'aide de pondérations plus complexes calculées d'après le milieu (cf. par exemple Chorley et Haggett, 1965-A, p. 113), on peut employer une série de modèles de simulation complexes, ajustés à des conditions différentes, réelles ou hypothétiques, à peu près de la même façon que les modèles hydrologiques expérimentaux d'estuaires et de deltas.

LES RÉSEAUX

Beaucoup des mouvements considérés au chapitre 2 ne sont pas bornés, en ce sens qu'ils peuvent s'écouler librement dans n'importe quelle direction; en fait, la plupart des mouvements sont limités, « canalisés » d'une façon ou d'une autre. Ainsi, même les routes aériennes sont, comme Warntz l'a montré à propos de l'Atlantique-Nord (1961), partiellement « canalisées », et la plupart des mouvements suivent des voies précises : routes, oléoducs, fils téléphoniques... Ces caractéristiques elles-mêmes posent des problèmes de localisation distincts, considérés ici comme faisant partie d'une catégorie générale, celle des problèmes de réseaux. Parmi les publications concernant la localisation des réseaux, on trouve des études anciennes classiques (par exemple celle de Lalanne, 1863), mais ce thème a été curieusement négligé dans les ouvrages traitant de la théorie de la localisation. Actuellement, il est de plus en plus étudié, tant en géographie humaine qu'en géographie physique.

1. LA LOCALISATION DES VOIES DE COMMUNICATION

La théorie des voies de communication est une des parties les moins élaborées de la théorie de la localisation; dans ces pages, nous essayons de coordonner quelques fragments plutôt que d'exposer un système complet. Nous étudierons d'abord la localisation de la composante la plus simple, la voie isolée, puis la forme du réseau de voies.

La localisation de la voie isolée

Supposons la construction d'une voie de communication entre deux points de peuplement α et β . La réponse intuitive au problème de localisation : « où construire la voie de communication? » est tout simplement : « joindre les points par une ligne droite » (fig. 3.1 A). Cependant, quand on observe la localisation réelle des voies de communication, on constate qu'à très peu d'exceptions près toutes celles qui joignent des centres peuplés suivent un tracé plus ou moins complexe, qui présente des déviations, au moins légères, par rapport à la solution géométrique constituée par la ligne droite. Deux types de déviations ont été particulièrement soulignés dans la théorie de la localisation.

LES DÉVIATIONS POSITIVES

Un premier type de déviation — l'allongement de l'itinéraire afin de collecter plus de fret —, appelé ici déviation positive, a été étudié dans un ouvrage ancien de Wellington, *The Economic Theory of the Location of Railways* (1887). Wellington, ingénieur des mines, a travaillé pendant quelque temps, au cours du troisième quart du XIX^e siècle, à l'organisation du système de voies ferrées, au Mexique, et s'est particulièrement intéressé aux divers tracés possibles entre la capitale Mexico et le port de Veracruz, situé sur le golfe du Mexique (Wellington, 1886).

La difficulté principale, dans ce cas, résidait dans l'estimation des conséquences du fait qu'on rattacherait ou non à la ligne les petits centres situés entre Mexico et Veracruz, le long du tracé général. Le dilemme, représenté sur la figure 3.1, est essentiellement un problème d'optimisation de la relation entre la longueur de la voie ferrée (optimum : la plus courte) et le montant du trafic (optimum : le plus grand).

A partir des données rassemblées, Wellington a avancé trois propositions fondamentales : 1^o si tous les points intermédiaires ont la même capacité de production, et s'ils sont espacés également, le trafic varie comme le carré du nombre de points desservis; 2^o si tous les points intermédiaires sont de « petites villes de province » dépourvues de voie ferrée concurrente, placer la gare à l'écart d'une ville a pour conséquence de réduire le revenu brut de 10 % pour chaque mile de distance entre la gare et le centre de la ville; 3^o si les points intermédiaires sont de « grandes villes industrielles » pourvues de possibilités ferroviaires concurrentes, la perte est encore plus rapide : réduction de 25 % pour chaque mile de distance entre la gare et le centre de la ville.

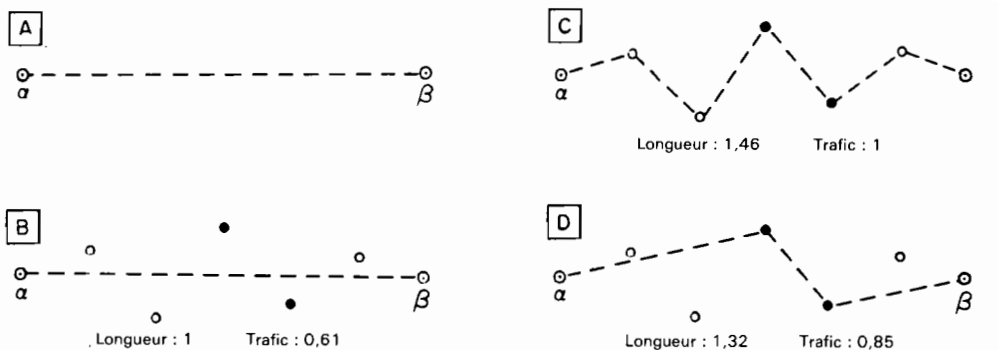


Fig. 3.1 — Tracés possibles entre deux points, méconnaissant les centres intermédiaires (A), minimisant la longueur (B), maximisant le trafic (C), et optimisant la longueur et le trafic (D).

Les solutions extrêmes du problème, posé dans l'abstrait, sont : minimiser la longueur de la ligne (fig. 3.1 B), ou maximiser le trafic (fig. 3.1 C). Si on suppose à la fois que la distance en ligne droite, de α à β , est égale à 1, et que le trafic maximal en provenance des villes intermédiaires (cercles creux) et des villes industrielles (cercles pleins) est égal à 1, alors la première solution réduit le trafic à 0,61, et la seconde fait passer la longueur de la voie ferrée à 1,46. Un compromis entre ces deux solutions (fig. 3.1 D), obtenu en reliant seulement les centres industriels, maintient le trafic à 0,85 et fait passer la longueur de la voie ferrée à 1,32 seulement.

L'intérêt de cette étude ancienne réside moins dans les résultats concrets que dans l'illustration du type de problème rencontré lors de la construction des voies de communication. Les statistiques utilisées par Wellington étaient d'une exactitude douteuse, même pour le Mexique du XIX^e siècle, et leur emploi, comme celui des distances radiales de Thünen (chap. 6, section 2), vaut surtout à titre d'exemple. D'autre part, c'est surtout au milieu et à la fin du XIX^e siècle que se posait le problème de la localisation des voies ferrées, plutôt que de nos jours; peut-être est-ce dans ce contexte historique qu'il faudrait examiner les principes de la localisation des voies ferrées dans la plupart des systèmes ferroviaires existant dans le monde.

LES DÉVIATIONS NÉGATIVES

Le deuxième type de déviation, appelé ici déviation négative, doit son existence à la nécessité d'éviter certains obstacles ou de minimiser la distance parcourue à travers des zones où les transports coûtent cher.

August Lösch (1954, p. 184) a discuté de l'application des « lois de la réfraction » à l'étude de la localisation des voies de communication. La figure 3.2 représente deux applications typiques de la loi de Snell (Sears et Zemansky, 1964, p. 842) dans un contexte simplifié. Le problème est de trouver un itinéraire tel qu'un produit puisse être expédié à un prix aussi bas que possible du lieu α au lieu β , et de localiser un port sur la côte, que l'on suppose partout favorable à la construction d'un port.

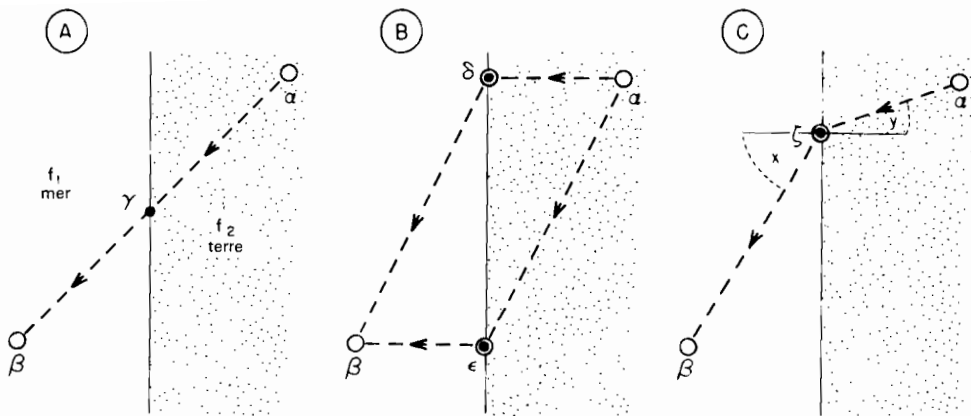


Fig. 3.2 — Lois de la réfraction appliquées à la localisation des itinéraires.
Source : LÖSCH, 1954, p. 184.

L'itinéraire direct de α à β franchit la côte en γ (fig. 3.2 A). Si on introduit un facteur concret, le coût du transport, on sait qu'il n'est pas le même par voie de terre et par voie maritime. Lösch montre que la localisation du port correspondant aux moindres coûts de transport est le point où :

$$f_1 \sin x - f_2 \sin y = 0$$

Dans cette formule, x et y sont les angles que les deux voies de transport font avec la côte, f_1 et f_2 les tarifs de transport. On obtient ainsi le site portuaire correspondant aux moindres coûts, ζ (fig. 3.2 C). Plus le coût de transport par chemin de fer est élevé par rapport au fret maritime, plus la localisation du port se rapproche de δ ; inversement, si le fret maritime augmente, le point optimal de transbordement se déplace vers ϵ (fig. 3.2 B).

La figure 3.3 représente une application plus complexe du même principe de réfraction : il s'agit du problème du choix, entre α et β , d'un itinéraire qui doit franchir une chaîne de montagnes (figurée en grisé). Ici encore, le coût par kilomètre de la voie de communication est beaucoup plus faible en plaine qu'en montagne, de sorte

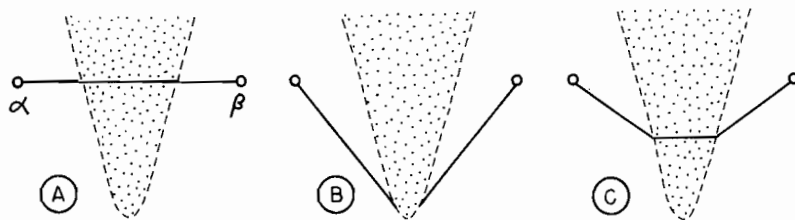


Fig. 3.3 — Cas d'itinéraire réfracté.
Source : LÖSCH, 1954, p. 186.

que le tracé direct n'est pas le moins cher. Plus est élevé le coût de la traversée de la zone montagneuse (ou plus est grand l'« indice de réfraction » dans l'analogie faite par Lösch), plus le tracé de moindre effort est dévié vers le sud (fig. 3.3 B). Ici encore, la localisation finale de compromis (fig. 3.3 C) dépend des coûts de construction et d'utilisation dans les deux milieux, plaine et montagne.

De peur que cet exemple ne semble trop théorique, Lösch rappelle le « détournement » par la route du cap Horn, au XIX^e siècle, d'une grande partie du commerce entre la côte est des États-Unis et la Californie; ce détour ajoutait quelque 15 000 km à la distance en ligne droite, par voie de terre, à travers les États-Unis. Un cas absolument semblable s'est présenté au XX^e siècle : le projet de canal à travers l'isthme de l'Amérique Centrale. Deux itinéraires principaux étaient envisagés, l'un par le Nicaragua, l'autre par le Panama; c'est l'itinéraire septentrional (Nicaragua) qui aurait le plus réduit la distance par mer entre l'Est et l'Ouest des États-Unis, mais cette économie était insignifiante, comparée à l'économie sur les coûts de construction obtenue en choisissant le Panama, où l'isthme est plus étroit. Ici encore, le rapport des coûts a été déterminant. Si le coût du transport maritime avait été beaucoup plus élevé, les avantages d'un itinéraire plus septentrional auraient pu être décisifs. Du fait que des navires autres que ceux des États-Unis devaient utiliser le canal, la décision était beaucoup moins facile à prendre en réalité, mais l'idée de Lösch reste, fondamentalement, valable. Specht (1959) a attiré l'attention sur les coûts de traversée par *ferry* et sur ses conséquences, telles que l'« inflexion » des itinéraires autour du lac Michigan; un exemple à plus petite échelle, mais tout aussi pertinent, est l'orientation des ponts traversant des voies ferrées. A moins qu'une route ne soit extrêmement importante, le pont franchit la voie ferrée à angle droit ou presque droit, en déviant par rapport à la direction générale de la route de chaque côté du pont. Lösch dirait que c'est la conséquence du très fort pouvoir de réfraction ou d'inflexion qu'ont les coûts de construction sur le tracé rectiligne de la route.

Lösch voit, dans le parallèle évident entre la loi économique et la formule de réfraction de la lumière et du son, moins le signe que le comportement des hommes se conforme à des principes de physique, qu'un principe général de moindre résistance (chap. 2, section 1) : « Toute l'histoire des sciences de la nature, écrit-il, est parcourue par le principe du moyen le plus simple ou de la moindre résistance (*lex parsimoniae*); il s'agit de l'hypothèse selon laquelle les phénomènes naturels atteignent leur but par le chemin le plus court » (Lösch, 1954, p. 184).

Des études empiriques de voies de communication particulières, comme celle de Vance (1961) sur le contraste entre les tracés de la piste de l'Oregon et de la ligne de l'Union Pacific à travers les montagnes Rocheuses, ou comme celle de Monbeig (1952) sur les voies de communication qui traversent la Serra do Mar dans le Sud-Est du Brésil, montrent qu'en aucun cas la localisation ne fut aussi simple que la géométrie de Lösch ne le suggère, mais il est tout aussi vrai que jamais son influence ne paraît absente.

La localisation des réseaux de voies

LES CONCEPTS DE DISTANCE MINIMALE

Bunge (1962) s'est beaucoup inspiré des concepts de la partie la plus fondamentale de la géométrie, la topologie, pour mettre en lumière les caractéristiques des réseaux de transport. Il avance l'idée que, s'il est aisé de construire une voie de communication qui relie cinq centres, la question de « l'itinéraire le plus court » ne peut être résolue aussi simplement que dans les problèmes examinés ci-dessus, relatifs à deux points seulement. La figure 3.4 illustre l'affirmation de Bunge : six réseaux de lignes ont été tracés, dont chacun représente une réponse différente à cette question.

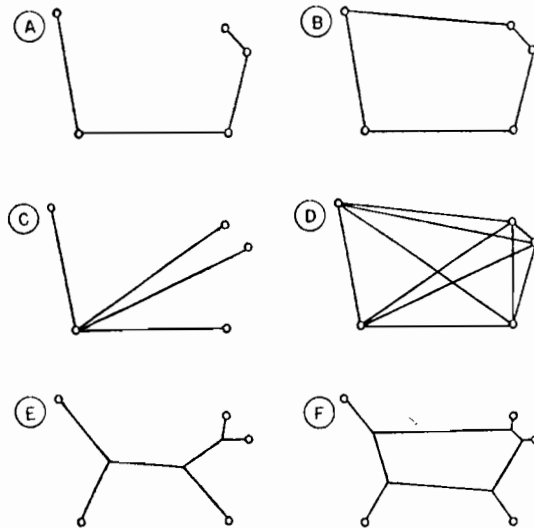


Fig. 3.4 — Définitions possibles de réseaux de distance minimale.

Source : BUNGE, 1962, pp. 183-189.

Le premier réseau est le réseau de distance minimale qui permet de partir d'un point particulier et d'aller en tous les autres en faisant le plus petit parcours total : solution qualifiée par Bunge de « réseau Paul Revere ». La figure 3.4 B représente un problème de distance semblable, le problème du circuit le plus court passant par cinq points : « problème du voyageur de commerce ». Les deux définitions suivantes (figures 3.4 C et 3.4 D) sont données pour des réseaux plus complets ; la première pour une liaison hiérarchique entre un point déterminé et tous les autres, et la seconde pour un réseau complet reliant chaque point à tous les autres. Si on examine cette dernière solution, elle apparaît comme la réponse complète à notre problème de réseau, en ce sens qu'on y trouve toutes les lignes possibles utilisées dans les trois solutions précédentes. Quant (1960) et d'autres auteurs font cer-

tainement cette supposition quand ils considèrent qu'un réseau de transport optimal comporte des liaisons assurant une connexion totale du réseau.

Toutefois, comme Bunge le fait observer, l'ensemble *le plus court* de lignes reliant les cinq points ne comporte en fait aucun des éléments représentés sur les schémas précédents; cette solution est représentée sur la figure 3.4 E. On peut la trouver analytiquement, ou en utilisant des modèles analogiques de type mécanique ou de type « bulles de savon » (Miehle, 1958; Silk, 1965); les intersections qu'elle présente ne coïncident avec aucun des points initialement définis. Enfin, la figure 3.4 F illustre le cas topologique général d'un réseau de lignes reliant cinq points, tel que Beckmann l'a présenté (Bunge, 1962, p. 189). L'étude de ce dernier schéma montre que les deux cas précédents — le réseau totalement connecté (D) et le réseau de liaisons le plus court (E) — ne sont que des cas limites particuliers du réseau général de Beckmann.

LES APPLICATIONS PRATIQUES DES PLANS DE RÉSEAU OPTIMAL

Parmi les définitions simples de réseaux de distance minimale, celle du type « voyageur de commerce » (fig. 3.4 B) a très souvent attiré l'attention. S'il est facile de trouver la solution quand il s'agit seulement de cinq points, les problèmes de calcul deviennent énormes pour des nombres plus grands de points. Par exemple, il y a 479 002 000 solutions au problème de la figure 3.5 : quel est le circuit le plus court reliant les treize villes de l'Ouest des États-Unis représentées sur la figure? Une

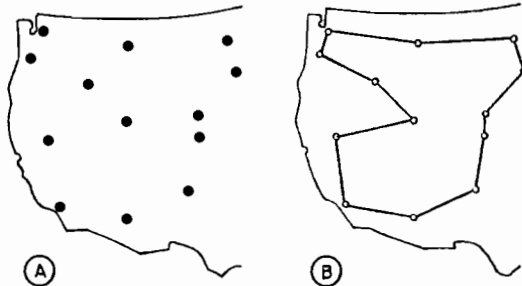


Fig. 3.5 — Circuit le plus court passant par treize grandes villes de l'Ouest des États-Unis.

Source : DANTZIG, FULKERSON et JOHNSON, 1954, p. 219.

seule de ces lignes, celle que représente la figure 3.5 B, est la solution optimale. Le terme général (le nombre total de solutions) est donné par la formule : $(N - 1)!$, où N est le nombre de points, de sorte que pour une centaine de villes le nombre de solutions possibles s'élève au chiffre astronomique de $9,3 \times 10^{158}$. Le calcul de telles solutions (fait couramment à l'aide d'ordinateurs très rapides) est important pour des entreprises telles que des compagnies pétrolières, qui ont à expédier régulièrement des produits, par la route, à des centaines de dépôts locaux; on étudie intensivement les chemins et réseaux optimaux (Flood, 1956; Garrison, 1959-1960) pour trouver des solutions pratiques à ces problèmes de localisation d'itinéraires.

La classification de Bunge et Beckmann a aussi de nombreuses possibilités d'application pratique dans la construction des voies de communication; ceci apparaît tout à fait pertinent si on remplace les symboles topologiques abstraits que sont les points et les lignes par les faits concrets que sont les villes et les voies ferrées. La solution D de la figure 3.4 représente le plan de voies ferrées qui entraîne les moindres coûts pour l'*usager* (c'est-à-dire les trajets les plus courts et les plus commodes en direction et à partir de chacune des cinq villes), tandis que la solution E est la moins coûteuse du point de vue du *constructeur* (c'est-à-dire : correspond à la longueur minimale de voies ferrées reliant les cinq villes).

Selon Bunge (1962, p. 187), le plan retenu, en fait, pour la construction de voies ferrées dépend du rapport entre ces deux coûts, le coût pour l'*usager* et le coût pour le constructeur. Là où de grandes villes sont groupées, selon lui, les grands flux de trafic engendrés entre elles donnent l'avantage au plan correspondant au moindre coût pour l'*usager*, plan que l'on peut observer dans le réseau ferroviaire du Nord-Est des États-Unis (Ullman, 1949). Lorsque les villes sont distantes l'une de l'autre et le trafic peu important, les coûts de construction l'emportent et les plans correspondant au moindre coût pour le constructeur s'imposent. Ici encore, on peut considérer que le plan des voies ferrées de l'Ouest des États-Unis (tout en admettant qu'il est fortement influencé par le relief) est de ce type, bien que des analyses détaillées (comme celle de Thomas, 1960, sur la ligne de Denver et du Rio Grande) donnent à penser que d'autres facteurs tendent à masquer ce fait.

Une autre application pratique du type de problème de minimisation posé par Bunge s'observe dans l'aménagement des réseaux routiers dans les zones rurales. Dans les régions où l'on organise, suivant un plan, un nouveau peuplement agricole, comme dans les polders hollandais, il y a au moins deux distances à minimiser (Chisholm, 1962, pp. 136-138) : 1° la distance intérieure, des bâtiments de la ferme aux champs; 2° la distance extérieure, de l'exploitation aux services publics (routes, adduction d'eau, électricité).

Si on suppose que, à cause du cadastre et pour des raisons de fonctionnement, l'exploitation agricole doit être organisée à l'intérieur de limites rectangulaires, la figure 3.6 représente quatre manières possibles de disposer les bâtiments, les routes et les limites des exploitations. Dans les deux premiers cas (fig. 3.6 A et 3.6 B), les unités d'exploitation sont carrées, et la situation optimale des bâtiments (du point de vue de l'agriculteur) est le centre du carré; mais cette solution a le désavantage d'exiger deux miles de route pour desservir les quatre fermes situées dans un ensemble de un mile carré. Le second cas présente un avantage marginal sur le premier : la surface de l'exploitation est moins divisée par la voie publique; mais ceci est partiellement compensé par le fait que des parties de ces exploitations de 160 acres sont à plus d'un quart de mile de la voie de desserte publique la plus proche. Ces zones moins accessibles sont figurées en grisé sur les schémas.

Dans le troisième cas (fig. 3.6 C), la forme carrée de l'exploitation est conservée, mais les bâtiments sont éloignés de leur localisation optimale au centre. La longueur de la route qui dessert quatre fermes est réduite de moitié, à un mile, mais les transports à travers champs à l'intérieur de l'exploitation sont allongés. Cette tendance

va plus loin dans le quatrième cas (fig. 3.6 D); l'unité d'exploitation y est transformée en une bande rectangulaire moins commode, et les bâtiments ont une situation excentrique (sur la route), mais la longueur totale de la route qui dessert quatre fermes est de nouveau réduite, de moitié, à 0,5 mile seulement (on suppose que de telles fermes sont situées sur le côté sud de la route).

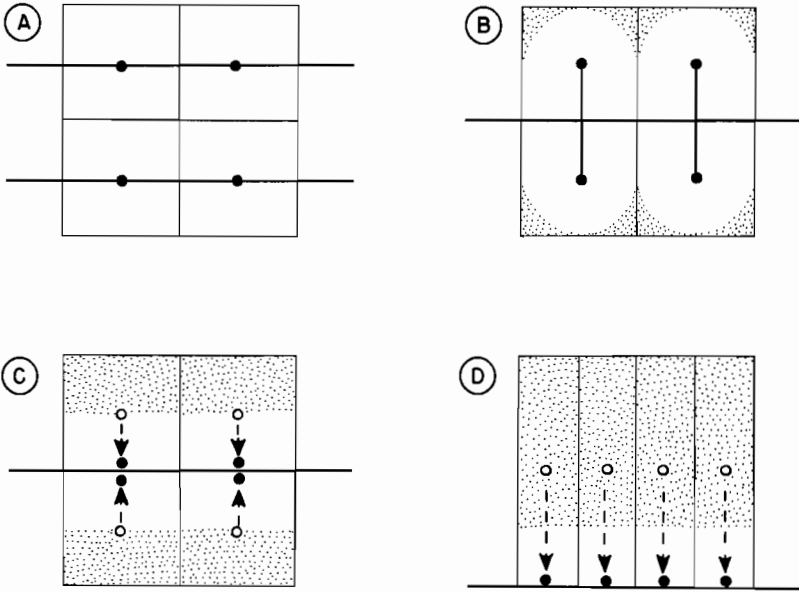


Fig. 3.6 — Définitions possibles de réseaux routiers ruraux de distance minimale. Les zones situées à plus d'un quart de mile des routes sont en grisé.
Source : CHISHOLM, 1962, p. 156.

Il est possible d'obtenir des combinaisons plus complexes de limites, de routes et de fermes, en introduisant un autre facteur à maximiser, la taille du groupe d'habitations. Dans les deux premiers cas, la maison isolée constitue le module d'habitat; mais, dans les troisième et quatrième cas, les maisons se groupent par deux. Si on les déplace de façon à les situer en des angles de leurs domaines, l'unité d'habitat s'élève à quatre maisons. De ce principe de « contact social » résultent des variantes des figures 3.6 C et 3.6 D, qui se révèlent être les solutions adoptées en pratique. Les exemples concrets que sont les polders hollandais, les plans de remembrement en Allemagne de l'Ouest, le peuplement en « rangs » au Canada (Mead et Brown, 1962), la colonisation en bandes au Japon (Inouye, *in* U.G.I., 1964, p. 308) et dans le Sud du Brésil (Monbeig, 1952), apparaissent conformes à ce schéma modifié.

LES FACTEURS POLITIQUES

C. H. Cooley, dans une remarquable étude, déjà ancienne, sur la théorie des transports, a souligné l'importance des facteurs politiques dans l'explication des plans des voies de communication, et avancé l'idée que « l'aspect politique de la question prend de l'importance avec le temps » (Cooley, 1894, p. 53). Ce thème est repris dans une étude récente de Wolfe, *Transportation and Politics* (1963). Il est certain que, dans le domaine de la construction des voies ferrées, la relation entre la ligne du Canadian-Pacific et l'État canadien, ou la relation entre le Transsibérien et l'État russe, ont valeur de symbole, même si ces voies ferrées ont eu des conséquences moins décisives qu'on ne le pensait autrefois. Dans le détail, le plan des réseaux de voies de communication peut traduire des différences politiques, importantes ou mineures. Sur la figure 3.7, l'effet d'« alignement » produit sur les voies ferrées (fig. 3.7 A) par la frontière qui sépare les États-Unis du Canada (représenté en grisé) est mis en parallèle avec l'effet de « blocage » produit sur le plan des routes (fig. 3.7 B) par la limite secondaire qui sépare l'Ontario du Québec (en grisé).

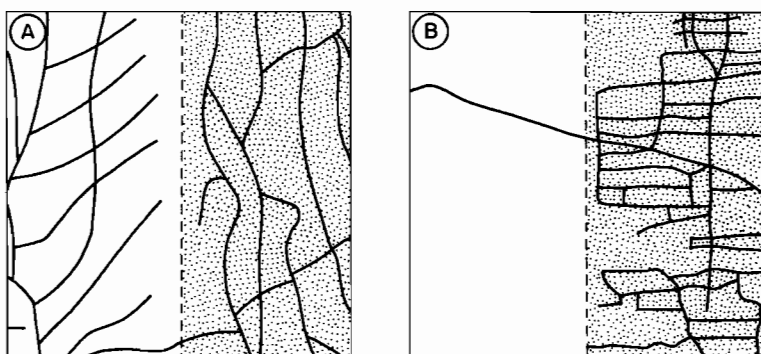


Fig. 3.7 — Troncation de réseaux par des limites de territoires : A. Réseau ferroviaire d'un carré échantillon ($G = 3,9$) sur les confins du Canada et des États-Unis. — B. Réseau routier d'un carré échantillon ($G = 5,3$) sur les confins de l'Ontario et du Québec au Canada.

Source : WOLFE, 1963, pp. 184, 185.

Meinig (1962) a étudié la géographie historique de deux réseaux ferroviaires : 1° une entreprise entièrement dirigée par l'État, dans le Sud de l'Australie; 2° un réseau que plusieurs compagnies privées ont construit et fait fonctionner dans le Nord-Ouest des États-Unis. Meinig a choisi ces réseaux, pour en faire l'étude comparative, parce qu'ils ont été construits et se sont développés à peu près à la même époque, parce que tous deux sont situés dans des régions de culture du blé, et parce que tous deux ont été en grande partie conçus pour l'expédition de céréales vers des ports maritimes.

Meinig relève un certain nombre de traits communs aux deux réseaux ferroviaires. Tous deux se sont étendus à peu près au même rythme, l'un en réponse à une pression politique et à l'idée de service public, l'autre en réponse à des possibilités de profit. Tous deux ont été compliqués par des changements dans l'orientation générale du commerce vers les différents ports, et leurs deux tracés ont subi la pression des communautés locales. Dans les deux cas, aussi, le nombre des variantes de tracés possibles dépassait toujours celui des voies qui pouvaient matériellement être construites, et les décisions étaient prises dans un cadre restreint (*cf.* fig. 1.7).

Les différences entre le réseau d'État et le réseau privé se révèlent d'autant plus frappantes. Meinig met au premier plan le fait que les itinéraires et les services existent, ou non, en double. Dans le bassin de la Columbia, les liaisons entre les centres d'expéditions de l'intérieur et les ports maritimes sont couramment doublées, et l'expéditeur est placé devant un choix entre des services concurrents à destination de ports différents. De telles possibilités de choix sont totalement absentes dans le Sud de l'Australie. En outre, la zone d'attraction de chaque ligne, dans le Sud de l'Australie, reste stable, ce qui contraste avec la « piraterie » et les « invasions » de territoires constamment observées dans le bassin de la Columbia. Une telle inconstance du réseau privé, selon Meinig, explique la reconversion rapide du système du bassin de la Columbia à un écartement de voie uniforme et son développement ultérieur; au contraire, le système du Sud de l'Australie est resté divisé en zones d'attraction relativement étanches, dont chacune est desservie par une ligne ayant son écartement propre. Avec le développement de la réglementation gouvernementale, aux États-Unis, les contrastes initiaux entre modes d'organisation s'affaiblissent quelque peu de nos jours.

Les effets de la géométrie des réseaux

La connaissance des relations entre la géométrie des réseaux et le développement des ressources régionales a fait de grands progrès grâce aux recherches de Garrison (1960) et de Kansky (1963). Ces auteurs ont imaginé une série d'indices de forme des réseaux fondés sur une branche des mathématiques, la théorie des graphes, qui permet de comparer de façon précise la « connexité » et la « forme » des réseaux. Ces indices sont discutés en détail au chapitre 8.

Deux exemples illustrant les résultats obtenus par Kansky sont donnés sur la figure 3.8, qui représente les relations entre les réseaux ferroviaires d'un échantillon de vingt-cinq pays et leur niveau général de développement économique. Sur le premier graphique (fig. 3.8 A), la consommation d'énergie (axe des y) est rapportée à un indice de connexité, l'indice β (axe des x). Les systèmes ferroviaires des pays très développés, comme la France, ont des indices de connexité élevés, tandis que ceux des pays sous-développés, comme le Nigeria, ont de faibles indices de connexité. Sur le second graphique (fig. 3.8 B), un autre indice de développement, le produit national brut par tête (axe des y), est rapporté à un indice de forme du réseau, l'indice π (axe des x). Ici encore, la France, dont l'indice de forme a une valeur élevée (la forme du réseau étant proche du cercle), contraste vivement avec le Nigeria, dont

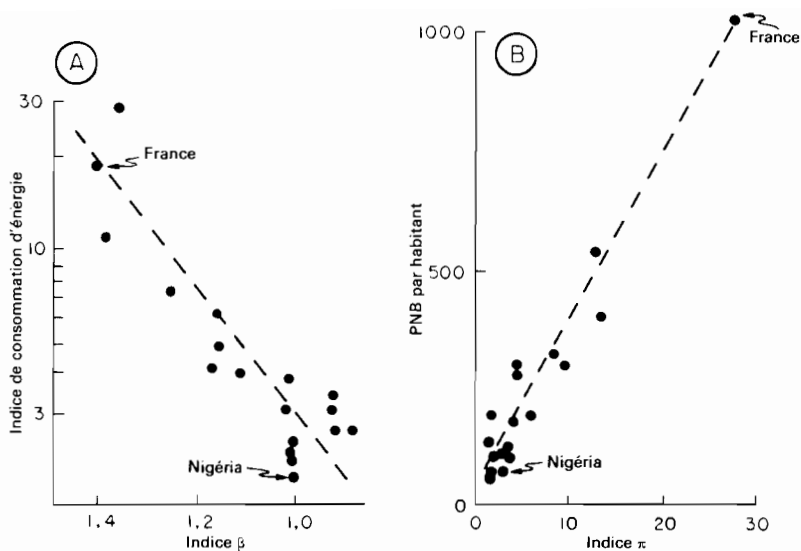


Fig. 3.8 — Relations entre des indices topologiques de connectivité (A) et de forme (B) de réseaux ferroviaires, et des indices de développement économique.

Source : KANSKY, 1963, p. 42.

le système ferroviaire est allongé. Les deux graphiques manifestent une tendance puissante et cohérente, qui est statistiquement significative, et qui suggère avec force que la géométrie de certains réseaux de voies de communication peut être en rapport très étroit avec le développement général des ressources régionales. S'il en est ainsi, il faut modifier légèrement les vues de Cooley sur l'influence des facteurs purement politiques; selon nous, ils peuvent jouer un rôle très important pour des voies de communication considérées isolément, mais, plus généralement, le plan suggère l'importance de facteurs plus purement économiques.

L'emploi de la théorie des graphes dans l'analyse des réseaux s'est aussi montré utile pour l'étude de la position de localités particulières dans un système de voies de communication. En utilisant une mesure d'accessibilité, l'indice de Shimmel-Katz, Garrison (1960, pp. 131-135) a pu analyser l'accessibilité relative de quarante-cinq localités situées dans le Sud-Est des États-Unis et reliées les unes aux autres par un réseau de grandes routes, l'« Interstate Highway System » (fig. 3.9 A). Les localités ont été choisies en partie d'après des critères de taille et en partie d'après leur position topologique (par exemple : à l'extrémité d'une voie de communication). La localisation des localités peu accessibles est peut-être prévisible, mais l'indice de Shimmel-Katz révèle une répartition intéressante et inattendue des localités dont l'accessibilité est élevée. La raison de ce contraste se trouve en partie dans le fait que la théorie des graphes met l'accent sur la propriété topologique du réseau, sa connectivité, plutôt que sur ses dimensions (cf. pp. 266-269). Kansky (1963) a rappelé que, dans une perspective topologique, les chemins de fer de Sardaigne apparaissent,

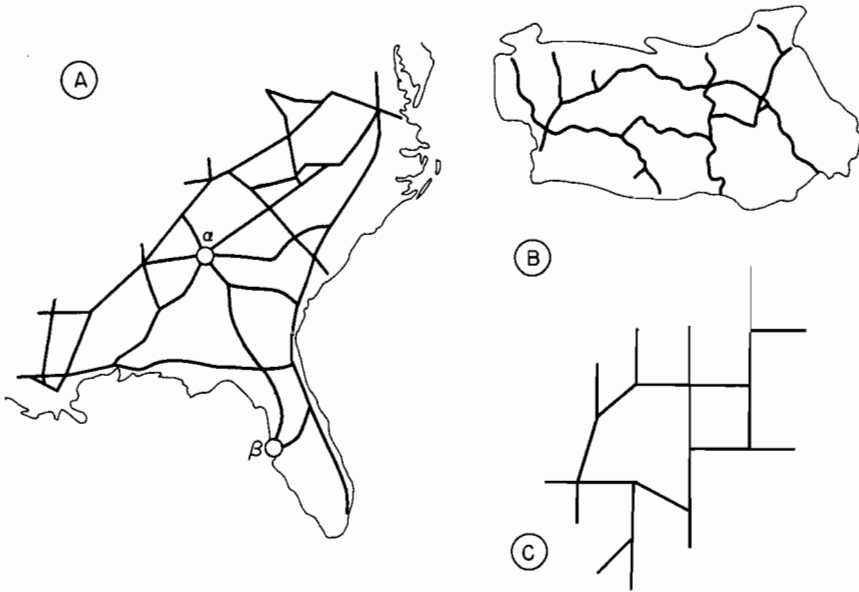


Fig. 3.9 — A. Réseau des grandes routes dans le Sud-Est des États-Unis ($G = 2,7$). — B et C. Simplification graphique du réseau ferroviaire de la Sardaigne ($G = 4,3$).
Sources : GARRISON, 1960, p. 132; KANSKY, 1963, p. 8.

non comme sur la figure 3.9 B, mais plutôt comme sur la figure 3.9 C. Les avantages que ce modèle plus abstrait présente du point de vue de l'analyse doivent évidemment être mis en balance avec la perte d'autres détails significatifs.

Hoover (1948, pp. 301-302) a démontré que le tracé des voies de communication peut influencer fortement sur les conditions de la lutte entre sources d'approvisionnement et lieux de destination pour la localisation des industries (chap. 5, section 4). La figure 3.10 A représente un système de transport théorique, avec une série de villes le long des voies de communication. Deux villes, α et δ , sont des sources d'approvisionnement en matières premières, charbon et bois respectivement, pour la fabrication d'un produit industriel. Hoover suppose que les coûts de transport, par kilomètre (compte non tenu des économies réalisables dans les transports à longue distance), sont entre eux, pour le bois, le charbon et le produit fini, comme les nombres 2, 3 et 4. Il poursuit en démontrant que la question de la localisation « la moins coûteuse » est une question mal posée, car « dans ces conditions, il n'existe pas de localisation optimale unique de l'usine, ni même de type unique d'orientation. Un certain nombre de possibilités d'orientation peuvent se présenter, selon l'ordre dans lequel les sources d'approvisionnement et le marché sont placés sur le système de voies de communication » (Hoover, 1948, p. 301).

Cette indétermination est illustrée par les figures 3.10 B à 3.10 F, où l'on suppose la production localisée en cinq points du système, qui sont, dans les deux premiers cas, les sources d'approvisionnement — charbon (fig. 3.10 B) ou bois (fig. 3.10 C) —

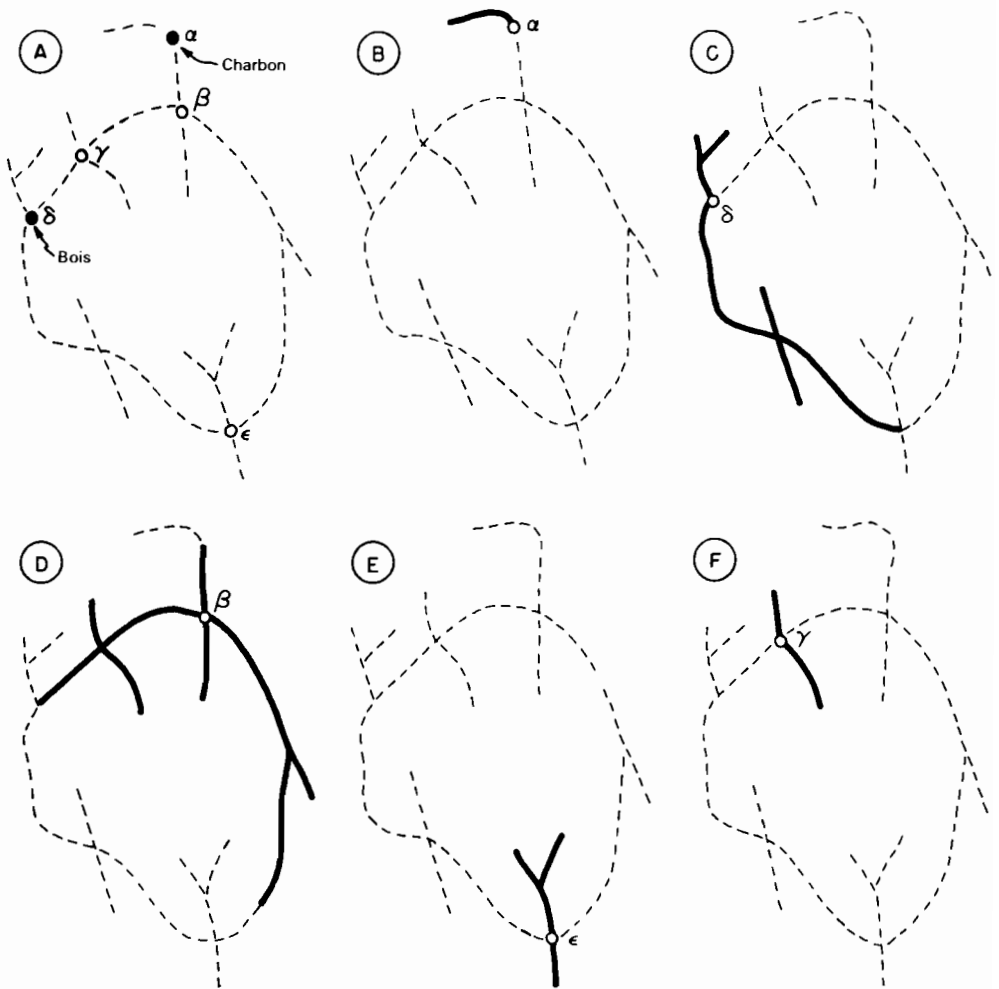


Fig. 3.10 — Effet de la géométrie du réseau sur la localisation d'installations industrielles. Les traits forts indiquent les parties du réseau les mieux desservies à partir de chacun des cinq points d'implantation potentiels.

Source : HOOVER, 1948, p. 41.

et, dans les trois derniers cas, des nœuds du système. Aucun point n'est optimal pour l'ensemble du système, et le meilleur, en ce sens qu'il dessert la plus grande longueur de voies de communication, est le point de jonction β , sur la figure 3.10 D. En pratique, la localisation en de tels points de jonction est favorisée lorsque les sources d'approvisionnement en matières premières et les lieux de destination des produits sont dispersés, ce qui arrive couramment. Elle est également avantagée par les tarifs de transport du type « transit intérieur », selon lesquels les produits transformés en un point quelconque d'un itinéraire ne subissent qu'un seul tarif de passage, alors qu'autrement ils subissent deux tarifs calculés chacun pour un trajet plus court mais plus élevés au total (Alexander, 1963, p. 476).

2. LA DENSITÉ DES RÉSEAUX DE VOIES

Avec du recul, les caractéristiques propres d'un réseau de voies s'estompent, et on observe simplement une répartition de densités : le réseau est très dense dans certains secteurs, très clairsemé dans d'autres. Pour aborder ce problème, nous partirons de l'échelle locale, celle du réseau des rues d'une ville et d'une petite circonscription ; puis, passant par l'échelle de la région et celle de l'État, nous aboutirons à l'échelle mondiale.

Le niveau local

L'examen des cartes à grande échelle ou des plans représentant des zones urbaines ou rurales révèle habituellement des différences assez fortes dans la densité des voies de communication. Les villages, avec une répartition plus dense, ressortent par rapport à la campagne environnante ; en ville, les secteurs vraiment urbains (même dans les villes américaines à plan géométrique) se détachent, grâce à la répartition plus dense de leurs rues, par rapport au réseau moins serré de leurs banlieues.

Récemment, les observations qualitatives de ce genre ont été fortement corroborées par une étude minutieuse de Borchert (1961) sur le plan des routes dans la région des « villes-jumelles » de Minneapolis et Saint-Paul. Au lieu de mesurer la densité des routes par leur longueur par unité de surface, Borchert a élaboré une technique de mesure simple, qui consiste à compter tous les points de jonction sur la carte. Il a constaté que la densité des points de jonction était en corrélation si forte avec la longueur de routes (coefficient de corrélation égal à + 0,99) qu'il était possible, et utile, de la substituer à la mesure, traditionnelle et plus lente, de la longueur. Les résultats obtenus par Borchert sont résumés sur la figure 3.11 A, qui montre la très forte liaison existant, dans la région de Minneapolis et Saint-Paul, entre la densité de la population, mesurée par le nombre de logements individuels (axe des y), et la densité du réseau, mesurée par le nombre d'intersections (axe des x). Le plan, nettement concentrique, des zones de densité du réseau, autour des centres des deux villes, est représenté sur la figure 3.11 B.

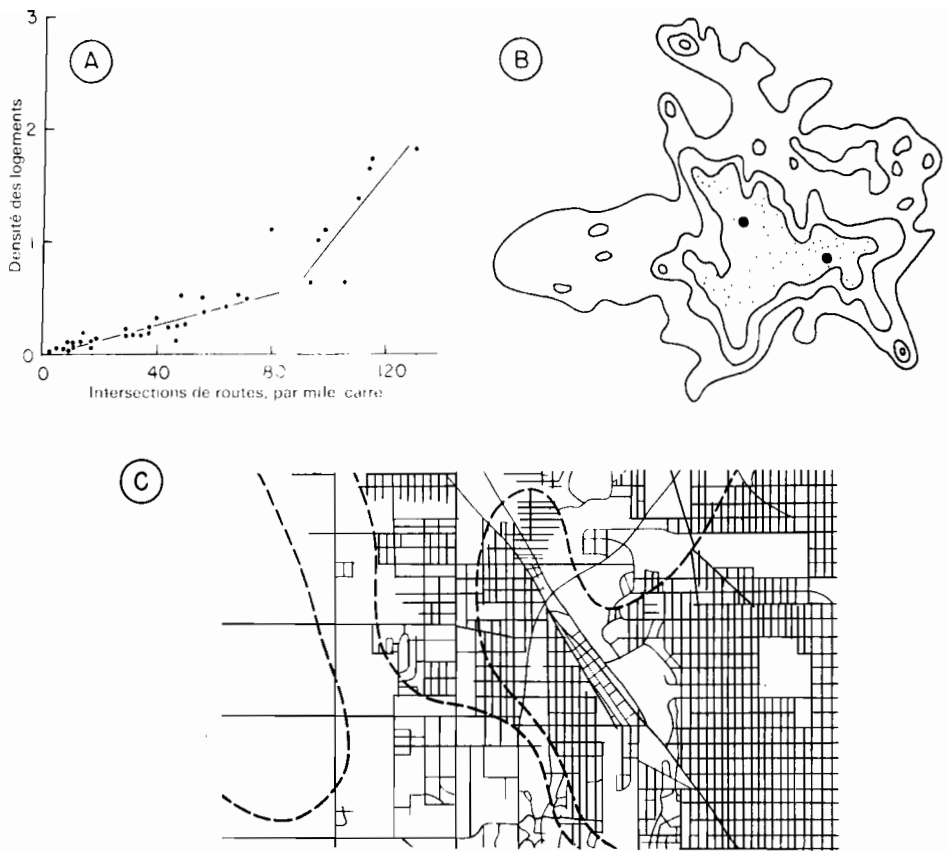


Fig. 3.11 — Densité des réseaux routiers dans et autour de Minneapolis et Saint-Paul, aux États-Unis : A. Relation entre le réseau et la densité des logements. — B. Zones concentriques de densité du réseau ($G = 5,1$). — C. Carré échantillon ($G = 7$) pris dans le réseau, avec des lignes d'égalité densité.

Source : BORCHERT, 1961, pp. 50-56.

Le niveau régional

Au niveau régional, une étude très approfondie de la distribution de la densité des routes au Ghana et au Nigeria a été faite par Taaffe (Taaffe, Morrill et Gould, 1963). Ayant mesuré, pour chacune des trente sous-régions du Ghana et des cinquante sous-régions du Nigeria, la densité des routes de classes 1 et 2, Taaffe la rapporte en premier lieu à la population et à la surface de chaque unité. En faisant une analyse de régression, il trouve que la variable population « explique » environ 50 % des variations de la densité des routes, tant au Ghana qu'au Nigeria. Puis, en introduisant la surface, en plus de la population, dans une analyse de régression multiple, il trouve que le seuil d'explication s'élève respectivement à 75 et à 80 %.

Taaffe poursuit en proposant quatre autres variables moins importantes, susceptibles d'aider à résoudre le problème des différences « inexplicables » existant entre les densités réelles et les valeurs théoriques qu'ont les densités d'après l'analyse de régression. Les quatre variables sont l'hostilité du milieu, la concurrence entre le rail et la route, les localisations intermédiaires et les rapports avec l'ordre dans lequel a lieu le développement économique.

L'hostilité du milieu, thème familier et fondamental de la géographie, est illustrée au Ghana par la faiblesse de la densité des voies de communication dans les terres marécageuses du district de la Volta et dans le secteur où l'escarpement de Mampong restreint fortement le développement des voies secondaires. La concurrence du rail est un facteur plus complexe, en ce sens qu'il est possible de soutenir soit que les voies ferrées réduisent le besoin de routes en fournissant une autre forme de transport, soit que les voies ferrées stimulent la construction de routes, en encourageant les productions destinées au commerce interrégional. Le second point de vue paraît l'emporter en ce qui concerne le Ghana et le Nigeria.

Taaffe constate que les sous-régions qui sont dans une situation intermédiaire, entre deux grandes zones fortement peuplées, ont des densités bien supérieures aux densités théoriques calculées d'après leur population et leur surface seulement. La densité des routes est en association positive avec le degré d'activité commerciale : les régions les plus productives ont un réseau routier plus dense que les régions moins évoluées. Une anomalie apparaît dans ce mode de répartition : dans les régions minières, qui sont grandement tributaires des transports par rail, la relation entre la mise en valeur des ressources et la densité des routes n'est pas vérifiée.

Le niveau international

Comparer les densités des réseaux de pays différents, au niveau mondial, soulève des problèmes ardues ; il s'agit de la définition pratique des voies de communication (chap. 7, section 1). Non seulement les problèmes de définition se multiplient (différences entre chemins de fer à une ou plusieurs voies, ou entre chemins ruraux et autoroutes à plusieurs voies), mais des informations semblables sont enregistrées et classées de façons très différentes. Ginsburg a essayé de normaliser ces chiffres établis de façon discordante dans son *Atlas of Economic Development* (1961) et les résultats qu'il a obtenus seront employés ici comme base de discussion.

Deux cartes de l'atlas de Ginsburg sont très importantes : la carte de densité des voies ferrées (XXIV) et la carte de densité des routes (XXIX). Sur l'une et l'autre, la densité est conçue comme égale à la longueur des voies de communication par 100 km² ; l'auteur souligne cependant qu'il existe plusieurs autres façons, aussi valables, de représenter la densité (par exemple par rapport à la population, ou par rapport à la population et à la distance). Pour notre propos, la densité par unité de surface fournit un paramètre plus fondamental, en ce sens qu'elle représente l'existence réelle, sur le terrain, de voies de communication spécialisées, quelle que soit l'intensité de l'utilisation de ces voies.

TABLEAU 3.1

DISTRIBUTION DE LA DENSITÉ DES VOIES DE COMMUNICATION ¹

	Routes	Voies ferrées
Nombre de pays comparés	126	134
Densité mondiale moyenne, en km/100 km ²	10,3	0,95
Densité maximale, en km/100 km ²	302,0	17,90
Densité minimale, en km/100 km ²	0,0	0,00
Pays où la densité est inférieure à la moyenne mondiale	64 %	67 %

1. Données mondiales pour 1956-1957.

Source : N. GINSBURG, *Atlas of Economic Development*, 1961, pp. 60, 70.

Les caractéristiques fondamentales de répartition dans le monde sont présentées, sous forme résumée, sur le tableau 3.1. La densité des routes, établie par compilation à partir de sources diverses et à l'aide de statistiques assez peu normalisées, a pour moyenne mondiale 10,3 km/100 km², soit environ dix fois la moyenne obtenue pour la densité des voies ferrées. L'intervalle entre les valeurs maximales et les valeurs moyennes est cependant beaucoup plus grand dans le cas des routes; le réseau routier de la Belgique, signalée comme ayant la plus forte densité, est à peu près trente fois plus dense que la moyenne mondiale, tandis que le réseau ferroviaire le plus dense, celui du Luxembourg, n'est qu'à peu près vingt fois plus dense que la moyenne mondiale. A l'autre extrémité de la distribution, un seul pays, le Groenland, est signalé comme ayant une densité de routes nulle, et vingt-sept pays n'ont aucune voie ferrée. La distribution est donc très dissymétrique : quelques pays ont des réseaux très denses, beaucoup ont des réseaux très clairsemés. Près des deux tiers des pays ont des densités inférieures à la moyenne mondiale.

Les réseaux de transport font partie — on peut le démontrer — de « l'infrastructure » du développement, et la distribution des pays selon la densité de leurs réseaux peut raisonnablement être rapprochée de leur niveau général de développement économique. Il est possible, et utile, d'étudier cette hypothèse en adoptant l'échelle de développement économique et démographique élaborée par Berry (1960) sur la base des valeurs indiquées dans l'atlas de Ginsburg (1961, pp. 110-119). La construction de cette échelle est expliquée plus loin, à propos de l'analyse en composantes principales (*cf.* pp. 251-253); disons brièvement qu'il s'agit d'une échelle calculée à partir de quarante-trois indices distincts du développement économique : les pays sont portés sur un graphique selon une échelle démographique (axe des *x*, qui est le plus court) et selon une échelle technologique (axe des *y*, qui est le plus long). Quelque quatre-vingt-quinze pays sont distribués sur cette échelle (fig. 3.12); les pays très développés figurent en haut et à gauche de l'échelle, les pays les plus pauvres en bas et à droite.

On superpose à cette échelle la distribution des pays selon la densité, forte ou faible, de leurs réseaux routiers et ferroviaires : les dix premiers pays, dont les réseaux

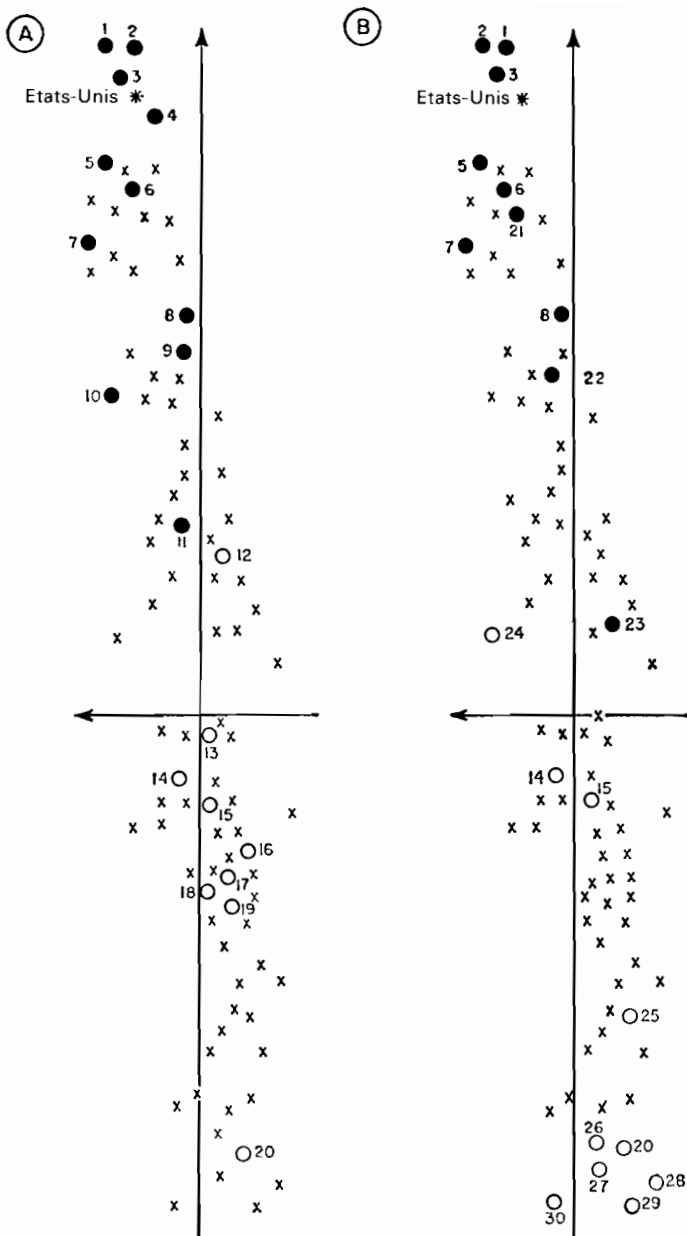


Fig. 3.12 — Relation entre la densité des réseaux routiers (A) et ferroviaires (B) de divers pays, et l'« échelle de développement » de Berry.

Source : BERRY, 1960, p. 91.

sont très denses, sont représentés par de grands cercles pleins, et les dix derniers, dont les réseaux sont les moins denses, par de grands cercles creux. La position des États-Unis sur cette échelle est marquée par un astérisque, pour référence.

Les dix pays qui ont les réseaux routiers les plus denses apparaissent groupés (fig. 3.12 A) vers l'extrémité de l'échelle qui correspond à un grand développement. Neuf d'entre eux sont des pays d'Europe : Royaume-Uni (1), Allemagne de l'Ouest (2), Belgique (3), France (4), Suisse (5), Pays-Bas (6), Danemark (7), Pologne (8), et Irlande (10). Seul, un autre pays, Hong Kong (11), fait exception. Les seuls pays très développés qui aient des réseaux routiers de densité relativement modeste sont les États-Unis, le Canada et la Suède. La répartition des densités des réseaux ferroviaires (fig. 3.12 B) se conforme, d'une façon générale, au même schéma : les pays d'Europe occupent les premiers rangs. Sept des pays mentionnés ci-dessus réapparaissent, accompagnés par deux pays d'Europe de l'Est, la Tchécoslovaquie (21) et la Hongrie (22), et par un État d'Extrême-Orient, Taïwan (23). La position apparemment anormale de Taïwan traduit le rang relativement élevé que tiennent, en ce qui concerne la densité des voies ferrées, plusieurs pays d'Asie du Sud-Est, comme l'Inde et la Birmanie, où les chemins de fer se sont développés grâce à l'administration coloniale britannique, ou comme le Japon et son ancienne colonie Taïwan, où le développement des transports a été délibérément axé sur le réseau ferroviaire.

A l'autre extrémité de l'échelle, la position des pays qui ont les réseaux les moins denses est difficile à définir, à cause de l'absence de la plupart des pays très sous-développés dans l'échelle de développement économique et démographique de Berry. On ne dispose pas d'un nombre suffisant de données pour les situer avec précision sur l'échelle, et les « dix pays dont les réseaux sont les moins denses » sont tirés de la population plus restreinte formée par les quatre-vingt-quinze pays qui figurent sur l'échelle. Néanmoins, la répartition, telle qu'elle apparaît, est intéressante. En ce qui concerne la densité des voies ferrées (fig. 3.12 B), les pays où elle est la plus faible se groupent, de façon frappante, en bas de l'échelle de développement. Six des sept pays ainsi placés sont des États africains : le Soudan (25), l'Éthiopie (28), la Libye (30), le Libéria (20), la Gambie (27), et l'ancienne Afrique équatoriale française (26); avec eux se trouve l'Afghanistan (29). Les anciens pays coloniaux plus développés ayant des réseaux ferroviaires très peu denses sont le Surinam (14) et la Guyana (15), pourvus l'un et l'autre d'excellentes rivières navigables, et, seule anomalie majeure, l'Islande (24).

En ce qui concerne la densité des routes, la répartition des pays où elle est la plus faible n'est pas aussi claire. Des pays relativement développés et de surface très grande, l'U.R.S.S. (9) et le Brésil (12), constituent des anomalies remarquables, tandis qu'à l'extrémité inférieure de l'échelle le Libéria est seul à représenter le groupe des pays d'Afrique remarqué sur la carte de densité des voies ferrées. Le Surinam et la Guyana sont ici au centre d'un groupe d'États tropicaux non africains, placés un peu au-dessous du milieu de l'échelle de développement : Costa Rica (13), l'Équateur (16) et la Bolivie (18), États américains et l'Iran (19) et l'ancien Bornéo britannique (17), pays d'Asie. D'une façon générale, la répartition de la densité des routes est moins facile à interpréter, ce qui traduit en partie la grande variabilité de la

définition des « routes ». Les différences entre les parties inférieures des deux échelles (rail et route) donnent à penser que des chemins de fer ont servi à suppléer les routes, et que dans d'autres cas, comme en Guyana, la navigation fluviale et côtière a servi à compléter routes et chemins de fer.

3. LES MODÈLES DE TRANSFORMATION DES RÉSEAUX

Le développement des routes, des chemins de fer, des canaux, etc., est étroitement lié au processus global de croissance économique et de développement régional. Nous considérerons ici quelques modèles assez simplifiés de transformation de réseaux, et nous examinerons la nature des changements associés à de telles transformations.

Le développement des voies de communication dans les régions sous-développées

EXPOSÉ DU MODÈLE

Nous devons à Taaffe, Morrill et Gould (1963) une des rares tentatives faites pour rassembler les constantes générales de la diffusion des voies de communication à l'intérieur d'un pays. A partir de l'étude du cas spécifique du développement des transports au Ghana et au Nigeria, et d'une étude moins approfondie concernant le Brésil, l'Afrique orientale britannique et la Malaisie, ces auteurs proposent une suite de quatre phases de développement (fig. 3.13).

Première phase : des petits ports et des comptoirs commerciaux sont éparpillés le long de la côte de la région en voie de développement (fig. 3.13 A). Chaque petit port possède une petite aire commerciale à l'intérieur du pays, mais il y a peu de contacts le long de la côte, sauf, à l'occasion, par l'intermédiaire de bateaux de pêche et de commerçants qui passent irrégulièrement. Des groupes d'indigènes sont installés autour de chaque poste de commerce européen. Les auteurs identifient cette phase, au Nigeria et au Ghana, comme s'étant déroulée du xv^e à la fin du xix^e siècle.

Deuxième phase : quelques lignes de pénétration importantes apparaissent, des centres de commerce intérieurs naissent aux terminus, et les ports côtiers pourvus de liaisons avec l'intérieur grandissent inégalement (fig. 3.13 B). Les ports côtiers se développant, leur hinterland local s'étend lui aussi, et des voies de communication tracées en diagonale commencent à converger vers eux. Cette phase s'identifie, au Ghana et au Nigeria, avec le développement des grands axes de communication à l'intérieur du pays. Il apparaît que ces axes ont été construits pour trois raisons majeures : 1^o pour établir des liaisons, politiques et militaires, entre un centre administratif situé sur la côte et la zone qu'il commandait à l'intérieur du pays (par exemple, au Ghana, on désirait atteindre Koumassi, capitale des Achantis rebelles); 2^o pour écouler les ressources minières exploitables, comme le charbon d'Enugu au Nigeria;

3^o pour drainer des régions capables de produire des denrées agricoles exportables, comme les régions cacaoyères situées au nord d'Accra. Bien que chaque raison ait joué un rôle, celle de l'exploitation des mines a été déterminante dans la construction des chemins de fer en Afrique; les exemples de l'Ouganda (ligne du cuivre de Kasese), du Cameroun (ligne de la bauxite de l'Adamaoua) et de la Mauritanie (ligne du minerai de fer de Fort-Gouraud), donnent à penser que cette phase n'est pas encore terminée.

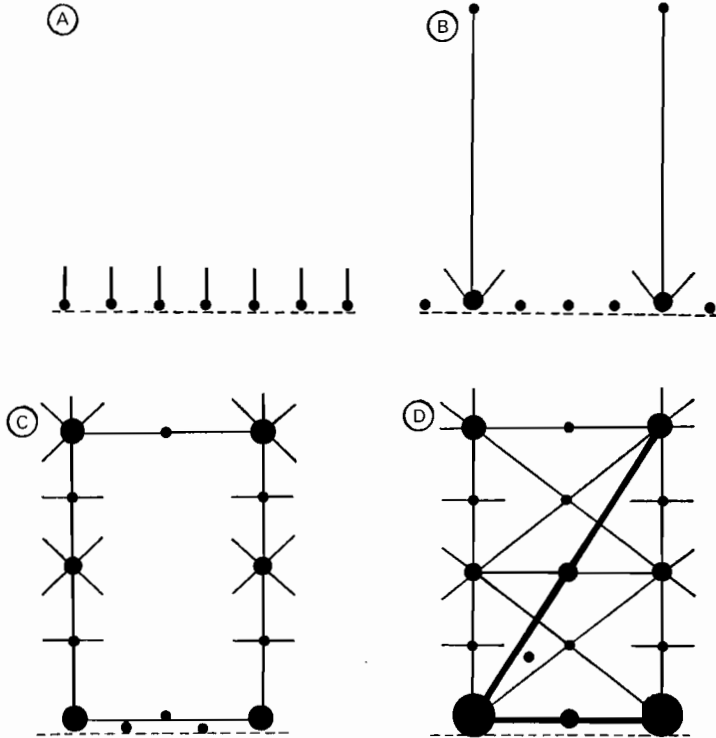


Fig. 3.13 — Modèle diachronique à quatre phases de développement d'un réseau situé dans un pays sous-développé.

Source : TAAFFE, MORRILL et GOULD, 1963, p. 504.

Troisième phase : des voies secondaires se développent, et on voit apparaître des interconnexions latérales (fig. 3.13 C). En même temps, l'extension des principales têtes de lignes situées sur la côte se poursuit, accompagnée de captures commerciales. Des centres intermédiaires grandissent, entre les têtes de ligne de la côte et les terminus de l'intérieur. Taaffe et ses collaborateurs (1963, pp. 511-514) présentent une série de cartes retraçant le développement des routes au Ghana et au Nigeria depuis 1920, pour donner une idée de l'établissement de liaisons latérales entre des lignes de pénétration et d'exploitation antérieurement non reliées.

Quatrième phase : ce processus de liaison et de concentration se répète, et des « liaisons hautement prioritaires » (indiquées par un trait plus épais sur la figure 3.13 D) apparaissent entre les centres les plus importants. Les routes pourvues du meilleur revêtement et les liaisons ferroviaires et aériennes les plus fréquentes suivront ces « rues principales » qui relient les trois plus grands centres. L'accroissement du trafic dans le « triangle » sud du Ghana donne à penser qu'un développement de ce genre s'y produit.

VALIDITÉ DU MODÈLE

Le modèle de Taaffe fournit un tableau résumé très utile de certaines constantes observables lors du développement des systèmes de voies de communication intérieures dans les régions côtières des pays coloniaux. L'analyse historique minutieuse du développement des transports au Ghana faite par Gould (1960) a fourni une base concrète et solide à l'élaboration du modèle.

Deux questions doivent être présentes à l'esprit quand on emploie le modèle : 1° jusqu'à quel point le modèle est-il applicable, en dehors de l'Afrique occidentale en particulier et des régions d'exploitation de type colonial en général; 2° jusqu'à quel point la division en stades successifs est-elle justifiée? On peut faire une comparaison suggestive avec le développement de certaines voies de communication, comme le système de voies ferrées qui converge vers les villes de São Paulo (α) et

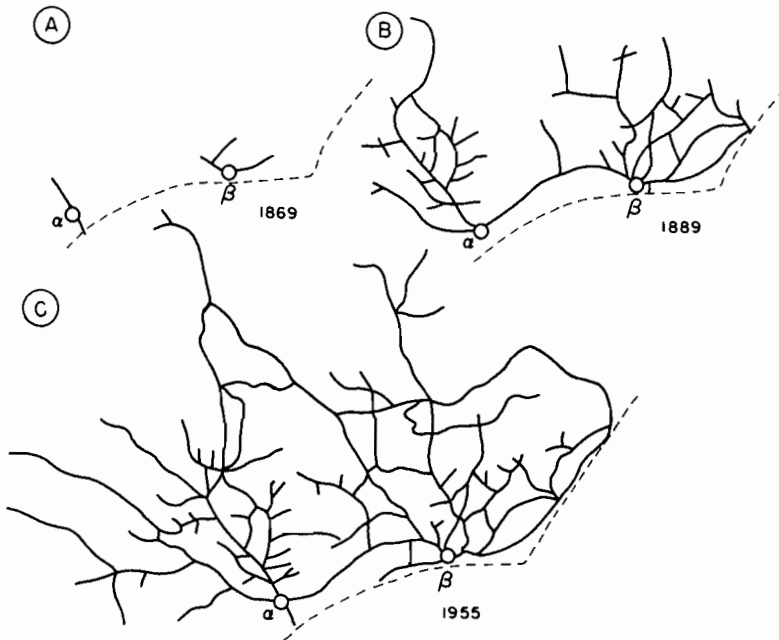


Fig. 3.14 — Étapes du développement du réseau ferroviaire, dans le Sud-Est du Brésil ($G = 2,8$).

de Rio de Janeiro (β) dans le Sud-Est du Brésil. Les cartes montrent l'état du système ferroviaire en 1869 (fig. 3.14 A), en 1889 (fig. 3.14 B) et en 1955 (fig. 3.14 C); on peut facilement y voir les faits caractéristiques d'extension et d'embranchement que mentionne le modèle de Taaffe. Des cartes semblables d'anciennes régions coloniales, comme l'Ouest des États-Unis, présentent un schéma assez identique.

A vrai dire, ce schéma suggère implicitement l'idée d'une onde de diffusion semblable à l'*innovationsförloppet* de Hägerstrand (1953) plutôt que d'un processus par étapes. Ce qui donne sa plus grande valeur à cette suite de quatre phases, comme aux « étapes de la croissance économique » de Rostow (1960), c'est le fait qu'elle stimule l'étude du développement; il y aura probablement bien des débats universitaires sur le nombre d'étapes à reconnaître et, éventuellement, sur les points de rupture significatifs.

Les substitutions de voies de communication dans les régions développées

RECHERCHE D'UN MODÈLE

Si le modèle précédent a des possibilités d'application plus larges que celles qui étaient visées tout d'abord, le problème de la construction d'un modèle général de développement des voies de communication dans les régions développées reste posé. Dans ce cas, on peut supposer qu'un système de voies de communication fonctionne déjà, et on s'intéresse à la façon dont les réseaux s'ajustent aux transformations techniques survenues dans les transports et à l'élargissement des cercles d'interaction qui accompagne l'élévation des niveaux socio-économiques.

Le besoin de changer d'itinéraire se manifeste parfois dans le trafic routier; d'où des problèmes, dont certains ont été soulevés dans le *Buchanan Report* (Ministère du Transport, 1963, pp. 71-136). Ce rapport insiste sur le fait que les « lignes de désir » (c'est-à-dire les lignes joignant les points de départ et de destination des mouvements) s'allongent et sont fort gênées par les voies de communication existantes; celles-ci, en effet, ont été tracées de façon à correspondre à d'anciennes lignes de désir de plus courte portée. C'est avec lenteur que le plan ancien se transforme, à mesure que l'on construit de nouvelles routes, des autoroutes et des rocades autour des centres de peuplement.

Une tentative pour concilier ce schéma d'évolution avec un paysage théorique de Lösch (Lösch, 1954, p. 127) est représentée sur la figure 3.15. Tout d'abord, la figure 3.15 A représente un paysage idéal de Lösch, dans lequel des lignes de désir relie chaque point de peuplement au voisin, d'où un réseau de sentiers entrecroisés; ce type de plan est encore perceptible sur des cartes de régions rurales d'Afrique tropicale. A la deuxième étape (fig. 3.15 B), le niveau économique s'est élevé, d'où un allongement de la distance d'interaction et une réduction de moitié du nombre des centres majeurs; il reste une série de petits centres, laissés de côté par les grandes voies et reliés par les petites. A la troisième étape (fig. 3.15 C), le niveau d'interaction s'est encore élevé, et il existe un nouvel ensemble d'itinéraires optima, un nouvel ensemble, réduit, de grands centres, et un ensemble plus grand de centres laissés de côté par les grands axes.

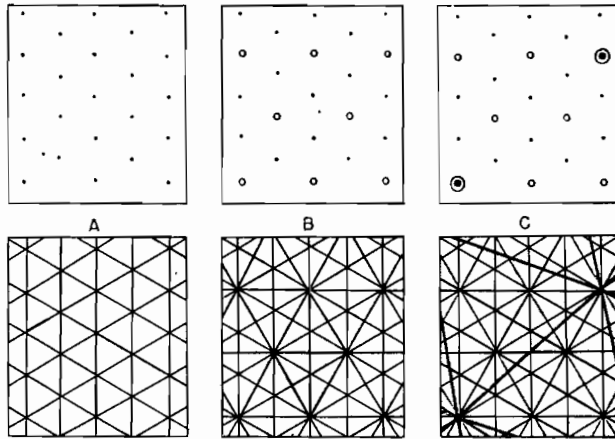


Fig. 3.15 — Développement d'un réseau par substitution de voies de communication reliant des centres dont l'importance varie, dans un paysage de Lösch.

La différence principale entre le modèle de Lösch et celui de Buchanan est que le premier admet que de nouvelles voies de communication *seront* créées pour faire face aux nouvelles demandes qui se manifestent entre les centres en voie d'émergence. Selon les observations de Buchanan, ce trafic à longue distance est maintenu de force dans les artères existantes, qui sont de petite capacité; d'où la lenteur des déplacements, la confusion des lignes de désir, les taux d'accidents élevés, etc. L'apparition de voies de communication de catégorie supérieure est observable en Grande-Bretagne, aussi bien dans le nouveau plan autoroutier que dans la révision du réseau ferroviaire.

LES EFFETS DES SUBSTITUTIONS

La façon exacte dont se produisent les substitutions de voies de communication dans les régions développées n'est pas claire; mais l'effet de telles transformations est d'une importance extrême. Un certain nombre d'études sur les effets des grandes routes ont été faites aux États-Unis par des géographes, sous le titre général de *highway impact studies*.

L'une des plus importantes de ces études, *Highway Development and Geographic Change* (Garrison, Berry, Marble, Nystuen et Morrill, 1959), a recherché l'effet de ces transformations des itinéraires sur la hiérarchie des villes. Un exemple typique est celui de l'effet produit par la construction d'une rocade sur le commerce et les fonctions de deux petites villes américaines, Everett (α) et Marysville (β), situées à quelque trente miles au nord de Seattle, dans l'État de Washington, sur la grande route (U.S. 99) qui se dirige vers la frontière du Canada. La figure 3.16 A représente la situation antérieure au mois d'octobre 1954 : la grande route traverse Marysville.

La figure 3.16 B illustre la situation postérieure à cette date : le trafic, dévié vers une route d'accès limitée à quatre voies, contourne cette localité.



Fig. 3.16 — Rocade contournant Marysville.

Source : GARRISON, BERRY, MARBLE, NYSTUEN et MORRILL, 1959, p. 102.

Les effets de ce nouvel itinéraire sur le trafic ont été nets et conformes aux prévisions. Dans l'année qui a suivi la construction de la rocade, le trafic traversant Marysville est tombé à environ un tiers de son volume antérieur (environ 5 400 véhicules par jour, contre 14 000). Les effets sur les fonctions de la ville ont été moins évidents. Sur ce point, Garrison a constaté que la chute du trafic de transit a fait de Marysville un centre de commerce local plus attirant, à tel point que les ventes correspondant aux « fonctions de premier et de second ordre » ont atteint 121 % des quantités vendues avant la construction de la rocade. D'autre part, comme il est désormais plus facile d'aller à Everett (qui est une plus grande ville) à partir des zones rurales qui entourent Marysville, les « fonctions de troisième ordre » de Marysville sont tombées à 83 % de leur niveau antérieur, tandis que ce dernier s'élevait à Everett. Par contre, Marysville, débarrassée de l'intense circulation de transit, est devenue une localité plus agréable à habiter; les loyers des terrains libres ont augmenté, et une vague de prospérité semble prévisible dans la construction de logements. L'étude de Garrison met bien en évidence l'effet de la transformation de la structure des voies de communication sur la réorientation de l'offre et de la demande et sur leur réajustement. Les habitants font de plus longs parcours sur la nouvelle grande route, pour aller à Everett satisfaire leurs besoins d'ordre plus élevé, mais Marysville est devenue un centre local plus agréable. A travers ces changements, il apparaît que le système urbain se réorganise lui-même, face aux tensions et aux contraintes exercées sur lui; ce qui se passe est conforme à ce qui a été proposé ci-dessus (pp. 27-34) comme caractéristique du comportement d'un système ouvert.

Les études comparables sont moins courantes en Angleterre; cependant, quelques tentatives intéressantes ont été faites, pour prévoir les effets qu'aurait le raccourcissement de certains itinéraires par la construction de ponts sur des estuaires. Woodward (1963) a montré les conséquences probables de la construction d'un pont routier sur la Tamar : l'extension de la sphère d'influence de la ville de Plymouth dans les zones adjacentes du Sud-Est de la Cornouailles. Une conséquence particulièrement remarquable, envisagée dans les plans régionaux, concerne la localité située, sur la rivière, directement en face de la grande ville. La population de cette localité, Saltash, était en 1960 de 7 500 habitants environ, et avait jusqu'alors augmenté lentement. Comme l'indique le tableau 3.2, les plans prévoient que cette situation changera radicalement, dans les douze années à venir, quand la petite ville commencera à intensifier sa fonction de dortoir de la grande cité. Des cas aussi frappants d'expansion urbaine consécutive à la construction d'un pont se sont produits autour de la baie de San Francisco, dans l'Ouest des États-Unis.

TABLEAU 3.2

EFFETS DE L'AMÉLIORATION DES LIAISONS SUR L'EXPANSION URBAINE¹

	Avant la liaison (1939-1959)	Après la liaison (1959-1971)
Estimation de la population à la fin de chaque période	7 450	12 000
Évolution annuelle moyenne de la population :		
— par accroissement naturel	9	17
— par suite des migrations	34	363

1. Évolution de la zone de Saltash consécutive à la construction du pont routier de la Tamar à Plymouth dans le Sud-Ouest de l'Angleterre.

Source : M. I. J. WOODWARD, *Geographical Effects of Building the Tamar Road Bridge*, 1963, p. 23.

Si l'importance des substitutions de voies de communication, et de leur développement, est indubitable aux niveaux local et régional, elle a été quelque peu controversée au niveau national. Le point de vue classique sur l'importance des voies ferrées dans la croissance économique a été récemment réaffirmé par Rostow (1960, p. 55); selon cet auteur, le décollage (ou *take-off*, l'une des étapes critiques de la croissance économique) a été déclenché, aux États-Unis, par le développement rapide du système ferroviaire pendant la période 1850-1890. Rostow considère les chemins de fer comme un secteur pilote, qui engendre une croissance secondaire d'autres secteurs tels que le charbon, le fer, la mécanique. Ce point de vue a été mis en question dans une étude d'économétrie très minutieuse de Fogel (1964); ce dernier montre que, à l'échelle interrégionale, les économies imputables aux chemins de fer (par opposition à l'extension possible du système voies d'eau — routes carrossables) étaient en 1890 étonnamment faibles — seulement 0,60 % du produit national brut des États-Unis. Fogel soutient que les gains dus aux chemins de fer ont été beaucoup plus faibles qu'on ne le croit traditionnellement, que beaucoup de voies ferrées, construites trop tôt, étaient anti-économiques; les chemins de fer ont certes fait partie de la révolution industrielle américaine mais ils n'en ont pas été une condition préalable.

Le développement des voies de communication et les modèles de diffusion

L'étude des voies de communication entre dans le cadre général des modèles de diffusion. Étudiant le problème à l'échelle locale, Borchert (1961) a retracé le développement de zones de densité des voies de communication autour des villes de Saint-Paul et Minneapolis, en distinguant les densités fortes, moyennes et faibles. Il a cartographié la position de chaque limite de densité en 1900, en 1940 et en 1956, et sa position telle qu'il la prévoyait pour 1980. Cette prévision est fondée sur la vitesse de l'expansion antérieure dans une direction donnée et sur des estimations

de la population des zones urbaines. Borchert a supposé que l'expansion, à un moment quelconque, se faisait perpendiculairement à la limite de densité; à partir de cette hypothèse, il a tracé des vecteurs dirigés vers l'extérieur. Aux endroits où, par suite de l'irrégularité des contours de la limite de densité, la limite prévue pour 1980 se trouvait projetée dans un secteur déjà occupé, ou sur un type de terrain impropre à l'habitat, Borchert a reporté la surface « en surplus » à un secteur périphérique qui convenait mieux, de par son accessibilité et la nature du terrain.

Taafe, Morrill et Gould (1963, pp. 511-513) ont cartographié les états successifs du développement des routes au Ghana en 1922 (fig. 3.17 A), en 1937, soit après un intervalle de quinze ans (fig. 3.17 B), et en 1957, soit après un nouvel intervalle de vingt ans (fig. 3.17 C). Sur chaque carte, les surfaces où la densité des routes est

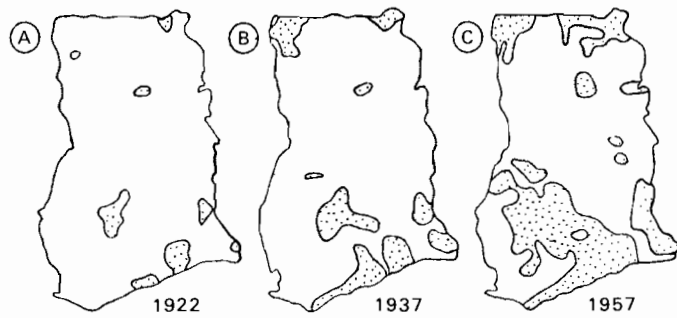


Fig. 3.17 — Diffusion de la zone de forte densité du réseau routier au Ghana ($G = 3,3$).

Source : TAAFFE, MORRILL et GOULD, 1963, p. 512.

forte (supérieure à 16 miles par 100 miles carrés) sont figurées en grisé. La régularité avec laquelle se propagent les classes de densité des grandes routes donne à penser qu'il serait possible de faire des prévisions à court terme, à partir des principes définis par Borchert. Sur cette base, il apparaît que l'augmentation de la densité des voies de communication est plus probable entre deux nœuds qu'en n'importe quel autre secteur comparable du Ghana; ce résultat est conforme à ce qu'indiquent les modèles d'interaction présentés dans la section 2 du chapitre 2. Godlund (1956, pp. 22-26) a cartographié des formes de diffusion comparables, à propos de la densité des services d'autocars en Suède.

Les résultats obtenus sur le développement des voies de communication, qu'ils soient énoncés en termes de réseaux ou de limites de densité, semblent indiquer qu'il serait possible, et utile, d'appliquer à ce thème des modèles de simulation fondés sur la méthode de Monte-Carlo. Morrill (1963) a introduit des itinéraires de transport simulés dans son étude sur la croissance démographique et urbaine dans le Sud de la Suède, et Kansky (1963) a tenté de « prévoir » le plan du réseau ferroviaire de la Sicile en employant des techniques de simulation et des indices de la théorie des graphes. Les principes de ces modèles de simulation prospectifs sont discutés au chapitre 10 (pp. 338-344).

LES NŒUDS

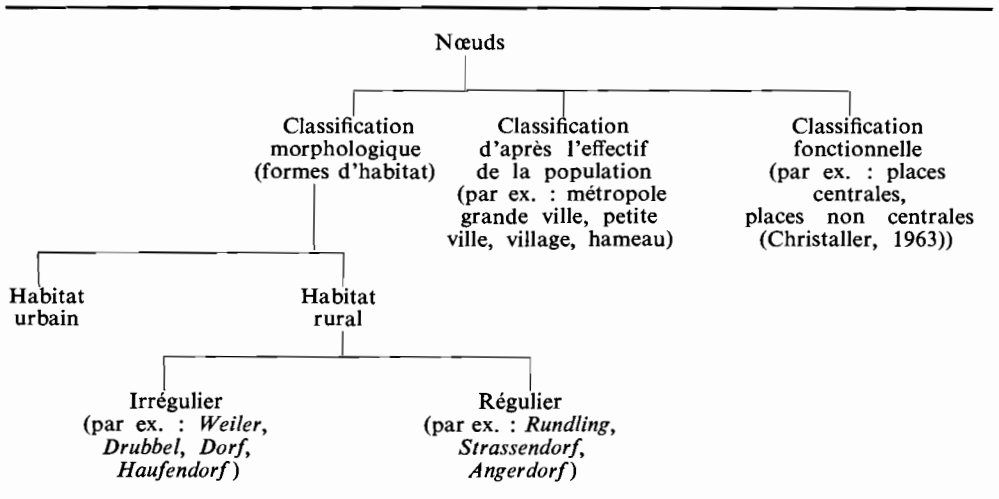
De même que l'étude des mouvements amène à considérer les réseaux, l'étude des réseaux amène à considérer les nœuds qui se trouvent sur ces réseaux. Le mot « nœuds » est employé ici pour désigner les points de jonction ou sommets du réseau, et, en tant que tel, il sert de terme collectif incluant d'autres mots — pôles, villes, places centrales, hameaux, groupements de population — qui ont tous des significations distinctes. On peut identifier des nœuds à tous les niveaux de l'organisation régionale, de la macrorégion, qui a pour nœud une aire métropolitaine, à la microrégion, qui a pour nœud une ferme.

Nous examinerons dans ce chapitre la distribution de ces nœuds à la fois du point de vue de leur importance et du point de vue de leur disposition dans l'espace; dans le chapitre suivant, nous étudierons leur organisation hiérarchique.

1. LA MORPHOLOGIE DE L'HABITAT

L'aspect de la répartition des populations humaines à la surface de la terre est comparable à un ciel étoilé : on y distingue aisément des galaxies et des constellations, formées de groupements de population d'importance très inégale (*cf.* section 2). Les quelques grands centres métropolitains ressortent nettement, tandis qu'à l'autre extrémité de l'échelle une myriade de petites communautés rurales se trouve à l'extrême limite de notre capacité de discernement statistique.

TABLEAU 4.1
TYPES DE CLASSIFICATION DE L'HABITAT



Pour discuter du dispositif fondamental des groupements nodaux, il est commode de partir de son expression morphologique, la répartition de l'habitat (tableau 4.1). Bien qu'il représente seulement, comme Hägerstrand l'a soutenu (1957, p. 27), le « centre de gravité » de mouvements continuels de la population, l'habitat traduit concrètement l'occupation de la surface de la terre par l'homme. En tant que tel, il constitue un élément essentiel du paysage, et son étude est au cœur de la géographie humaine. Dans les exposés d'ensemble, aussi bien anciens (par exemple celui de Jean Brunhes, 1925) que contemporains (par exemple celui d'Emrys Jones, 1964), la répartition de l'habitat occupe une place privilégiée.

La répartition de l'habitat en treillis réguliers

On a vu ci-dessus (chap. 2, section 3) que l'hexagone est la forme géométrique la plus économique pour répartir également une surface entre un certain nombre de points. En raisonnant de même, on peut montrer que les centres de ces hexagones,

les centres nodaux ou points de polarisation, doivent former un treillis triangulaire régulier pour satisfaire aux mêmes exigences d'énergie minimale (fig. 4.1 A).

Cette disposition des unités d'habitat en triangles réguliers a été employée par Christaller (1933) quand il a élaboré pour la première fois la théorie des places centrales, et par Lösch (1938, 1954) quand il a par la suite poussé plus loin l'élaboration du modèle de Christaller (chap. 5, section 1). On pourrait donc s'attendre, pour des raisons théoriques, à constater que les unités d'habitat se disposent selon un treillis triangulaire. Cependant, Lösch (1954, p. 133) a signalé les difficultés pratiques que soulève l'adoption de ce dispositif, et avancé l'idée qu'il est possible d'adopter le treillis carré, lorsqu'on organise, suivant un plan, de nouvelles aires de peuplement. Les carrés, comme le montre la figure 2.9 B, ne sont qu'un peu moins « efficaces » que les hexagones, et constituent une forme de remplacement très utile.

LES DONNÉES QUALITATIVES

Les types de répartition de l'habitat décrits par les géographes européens n'indiquent guère l'existence de treillis réguliers. A vrai dire, l'attention s'est portée plus particulièrement sur la forme des unités d'habitat prises isolément, plutôt que sur leur mode de répartition en général. Alors qu'une typologie complexe des formes de villages a été élaborée, particulièrement dans les publications allemandes (tableau 4.1 ; cf. par exemple Meitzen, 1895, résumé par Pfeifer, in Thomas, 1956, pp. 240-277), la description du mode de répartition n'a guère dépassé la dichotomie simple : habitat dispersé-habitat groupé. Certaines formes géométriques régulières se laissent identifier de façon nette. La « centuriation » romaine ou la façon dont les nouveaux villages sont disposés sur les terres vierges asséchées des polders hollandais sont de modestes exemples de treillis réguliers situés en Europe; mais les principaux exemples se situent outre-mer, dans les aires de colonisation européenne.

Dans le cas le plus remarquable, celui du *township and range system* américain, un système régulier de subdivisions carrées a été dessiné sur une surface de quelque deux millions de miles carrés, soit la plus grande partie du Centre et du sud des États-Unis. Pattison (1957) a décrit les diverses solutions proposées à partir de 1785 pour résoudre le problème du partage des terres inoccupées des Territoires de l'Ouest. La difficulté que constituait la convergence des méridiens posait des problèmes d'arpentage, et ce n'est qu'au XIX^e siècle qu'un plan relativement uniforme a été adopté. Le système rectiligne, avec ses divisions emboîtées, toutes carrées, — *townships* (surface : trente-six miles carrés), sections (un mile carré), quarts de section (160 acres), — a fourni le moule dans lequel s'est coulée la société complexe qui a colonisé l'Ouest. En 1862, à un moment critique de l'occupation des terres, le *Homestead Act* (loi sur les Fermes) a fait du quart de section l'étalon d'exploitation agricole; bien qu'il ait été révisé par la suite, le plan qui en est résulté a marqué vigoureusement des paysages aussi dissemblables que ceux de l'Oklahoma et de l'Alaska. Mead et Brown (1962) donnent quelques exemples excellents des relations entre le système de *township and range* d'une part, et les routes, l'habitat et l'utilisation du sol d'autre part, en diverses régions des États-Unis.

LES NŒUDS

Au cours du siècle écoulé depuis que le système de *township and range* a été imposé, la rigidité de ses lignes géométriques a été quelque peu brouillée. Johnson (1957), étudiant le bassin de la Whitewater, dans le Minnesota, a montré la façon dont les concessions d'un quart de section primitives, celles de 1853-1854, ont été elles-mêmes formées par combinaison irrégulière d'unités contiguës de quarante acres, pour essayer d'adapter les limites des exploitations aux caractéristiques fondamentales du sol et du relief de chaque région. Depuis lors, à la suite d'abandons, de reventes, de regroupements, le plan a continué à s'adapter. Comme on l'a montré au chapitre 3, l'accessibilité aux grandes routes a joué un rôle majeur dans la localisation de la ferme à l'intérieur du quart de section (fig. 3.6), et une répartition linéaire de l'habitat s'est étendue, le long des routes, sur de vastes surfaces. Kollmorgen et Jenks (1951) ont confirmé cette tendance, à propos d'une autre région partagée en quarts de section, l'Ouest du Kansas, où ils ont constaté que la surface des exploitations a été multipliée par cinq depuis 1890, les nouvelles fermes étant disposées en lignes le long des grandes routes qui vont de l'est à l'ouest, c'est-à-dire selon la direction principale de la circulation.

LES DONNÉES QUANTITATIVES

Dacey (1962) a analysé la distribution des hameaux, des villages et des villes dans une région des États-Unis où la colonisation a été soumise au système de *township and range*. Il a choisi un secteur du Sud-Ouest du Wisconsin, déjà étudié par Brush (1953) et contenant quelque 235 unités d'habitat, qu'il a réparties en trois strates : hameaux (61 % du total des unités d'habitat), villages (31 %), villes (8 %). Dacey a employé la technique d'« analyse du plus proche voisinage » (chap. 8, section 2) pour comparer la répartition observée avec trois distributions théoriques : la distribution hexagonale régulière, la distribution aléatoire et la distribution en groupes.

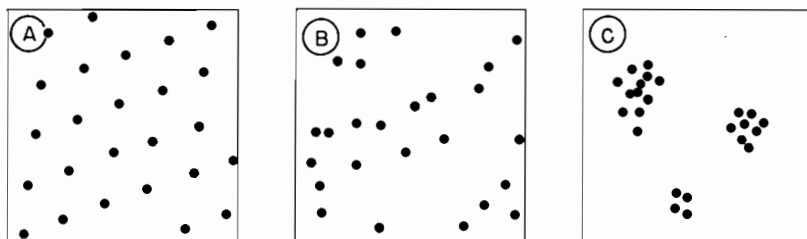


Fig. 4.1 — Répartitions typiques : régulière (A), aléatoire (B), groupée (C).
Source : GREIG-SMITH, 1964, p. 12.

(fig. 4.1). Le tableau 4.2 présente la relation existant entre la répartition observée et les distributions théoriques, en indiquant les valeurs D qui mesurent les différences entre le premier et les autres : de fortes valeurs D indiquent de fortes différences,

et vice versa. La comparaison des chiffres des trois colonnes montre clairement que la répartition des unités d'habitat, dans cette région, est proche d'une distribution aléatoire (plutôt que d'une distribution régulière ou groupée). Cependant, il existe quelques différences entre les trois niveaux de stratification de l'habitat : le plus haut degré de régularité est observé pour les hameaux. Par conséquent, l'étude de Dacey incite à penser que, même dans une région où le sol a été partagé selon un plan, le mode prédominant de répartition des unités d'habitat se révèle aléatoire, mais que l'ancien dispositif régulier persiste davantage au niveau des plus petites unités d'habitat (les hameaux) qu'à celui des unités des catégories supérieures.

TABLEAU 4.2

DISTRIBUTIONS RÉELLE ET THÉORIQUE DES UNITÉS D'HABITAT ¹

	Hameaux	Villages	Villes
Différence entre la distribution observée et les distributions théoriques :			
— distribution hexagonale régulière	5,41	6,31	5,81
— distribution aléatoire	1,79	1,57	2,73
— distribution en groupes	13,39	15,21	15,52

1. Sud-Ouest du Wisconsin (États-Unis).

Source : M. F. DACEY, in *Lund Studies*, 1962, p. 71.

La méthode du plus proche voisinage a également été employée par King (1962) dans une étude comparative faite sur un échantillon de vingt secteurs des États-Unis. Dans chaque secteur, King a repéré toutes les localités de caractère urbain, et mesuré les distances en ligne droite entre chaque ville et la ville voisine la plus proche (sans tenir compte de leur taille). Le nombre de villes variait de 177, dans le secteur échantillon de Pennsylvanie, à 23, dans le secteur échantillon du Nouveau-Mexique. En comparant les espacements observés aux espacements théoriques correspondant à une distribution aléatoire, King a calculé l'indice de plus proche voisinage, R_n . Les valeurs de R_n s'étendent de zéro (groupement de tous les points en une seule localisation) à 2,15 (treillis triangulaire régulier), en passant par 1 (distribution aléatoire uniforme). Les valeurs de R_n obtenues pour les vingt secteurs échantillons sont portées sur la figure 4.2 B : leur étendue est faible, allant de 0,70 dans le cas du secteur échantillon de l'Utah, où la distribution est relativement groupée, à 1,38 pour le secteur échantillon du Missouri, où la répartition est assez régulière. La distribution réelle dans ces deux secteurs est représentée sur la figure 4.2 C. Ainsi, la principale conclusion à tirer de l'étude de King est qu'elle confirme le point de vue selon lequel la répartition des unités de peuplement aux États-Unis n'est pas régulière, mais proche d'une distribution aléatoire.

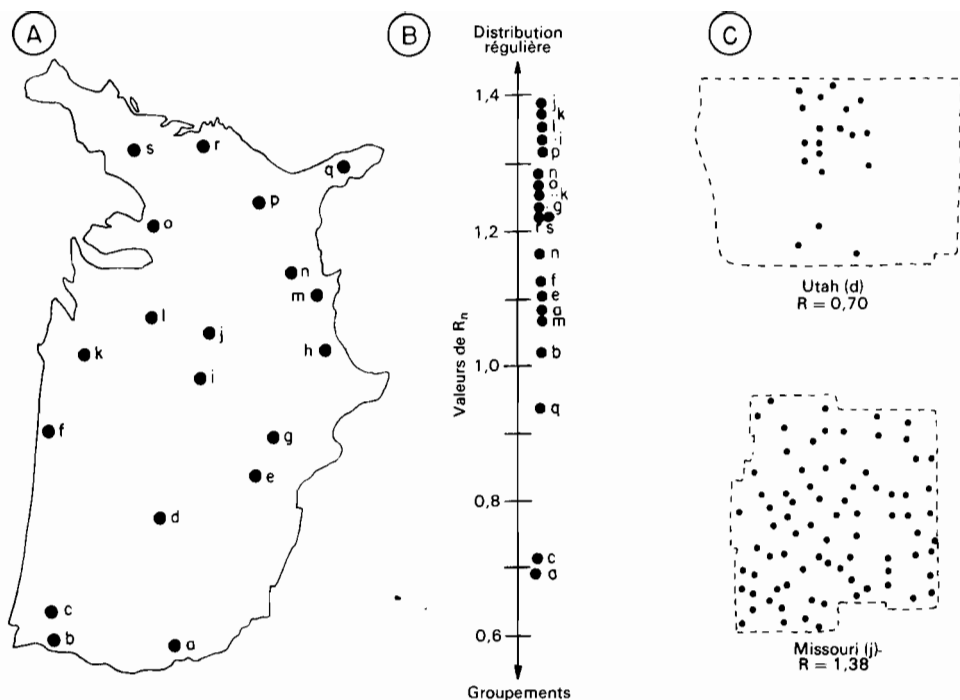


Fig. 4.2 — A. Répartition à l'intérieur des États-Unis des secteurs échantillons étudiés ($G = 1,8$). — B. Échelle des valeurs de R_n . — C. Unités d'habitat groupées, dans le secteur échantillon de l'Utah ($G = 4,7$); contraste avec la régularité de la répartition des unités d'habitat dans le secteur échantillon du Missouri ($G = 4,8$).

Source : KING, 1962, pp. 3-4.

La répartition irrégulière de l'habitat

La faillite du treillis régulier comme modèle de distribution de l'habitat n'est guère surprenante. Le treillis régulier, comme l'hexagone, est un concept purement théorique; dans la réalité, il est nécessairement distordu pour diverses raisons.

EFFETS DE DISTORSION DUS À LA PRÉSENCE D'UN CENTRE URBAIN

Une des plus graves insuffisances du système d'hexagones réguliers de Lösch est son incapacité à faire la part des variations, inévitables, de la taille des hexagones. Lösch a postulé l'existence d'une forte densité de population près du centre de son aire de marché, mais n'a pas réussi à ajuster son réseau hexagonal (fig. 5.8) de façon à l'accorder avec elle. Ce problème n'a pas encore été résolu; mais Isard, on l'a vu (1956, p. 272), a tenté une modification graphique, les hexagones devenant régulièrement plus petits à mesure qu'ils se situent plus près du centre (fig. 2.14). Théoriquement, les unités d'habitat doivent donc être plus serrées autour des grands centres urbains que dans les parties plus écartées d'une région.

Une des plus intéressantes confirmations de cette tendance est fournie par un ouvrage de Bogue (1949), *The Structure of the Metropolitan Community*, dans lequel l'auteur analyse la répartition de la population autour de soixante-sept grandes villes des États-Unis. Bogue présente les résultats obtenus sous la forme de profils généralisés allant de la ville à la périphérie rurale, jusqu'à 300 miles de la ville. Ces profils suggèrent quatre conclusions générales :

1° La population urbaine diminue, quand la distance par rapport à la ville prise comme centre augmente. Cette variation décrit à peu près une ligne droite sur papier bilogarithmique : sur tous les graphiques de la figure 4.3, la densité de population

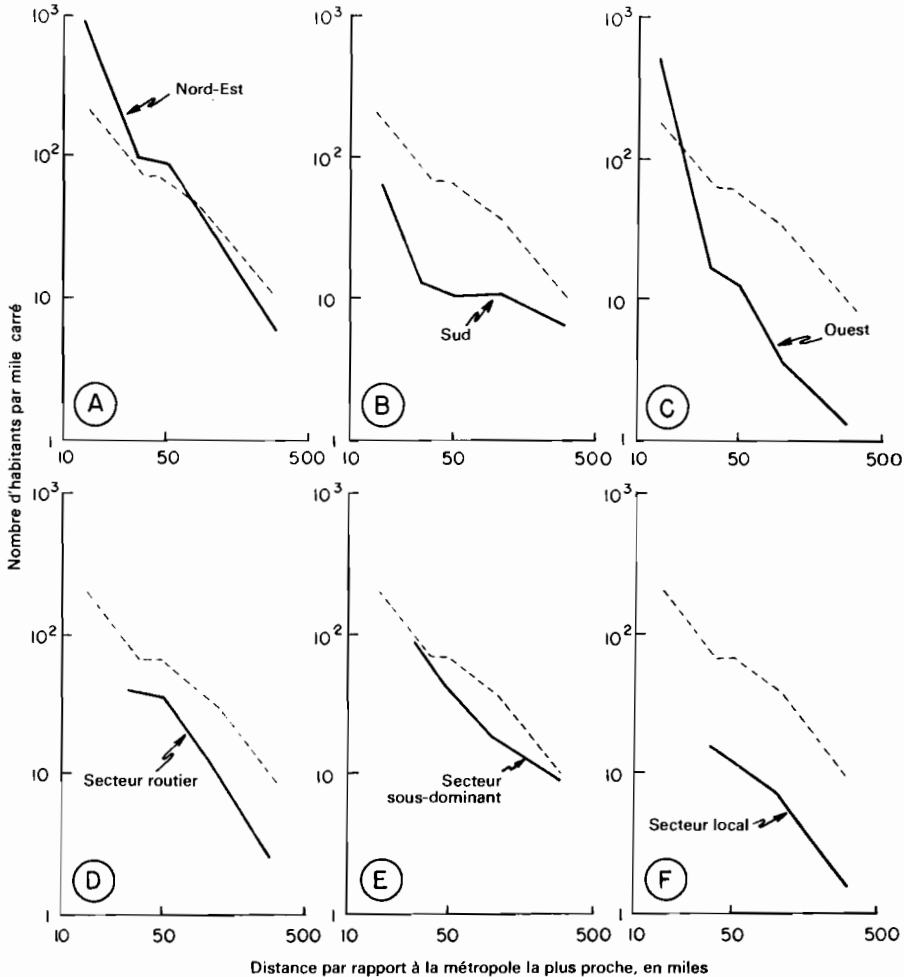


Fig. 4.3 — Variations des densités de population urbaine, par régions (A, B, C) et par types de secteurs (D, E, F), aux États-Unis.

Source : BOGUE, 1949, pp. 47, 58.

urbaine, représentée par une ligne brisée, est portée en ordonnée, la distance par rapport à la métropole la plus proche en abscisse. A 25 miles de la ville-centre, la densité est supérieure à 200 habitants par mile carré; à 250 miles, elle tombe à environ 4 par mile carré.

2° La densité et son taux de diminution en fonction de la distance varient selon la taille de la ville-centre. Bogue a constaté que, pour les quatre métropoles qui ont plus de 500 000 habitants, la densité de population urbaine, à 25 miles du centre, était environ huit fois plus forte que pour les cinquante-trois villes dont la population est inférieure à ce niveau; mais la différence diminue quand la distance par rapport à la métropole est plus grande.

3° La densité et son taux de diminution diffèrent selon les régions des États-Unis. Le contraste entre le Nord-Est (fig. 4.3 A), le Sud (fig. 4.3 B) et l'Ouest (fig. 4.3 C) ressort nettement : le Nord-Est a une densité générale forte et un taux de décroissance rapide, le Sud a une densité plus faible et un taux de décroissance irrégulier, et l'Ouest a un taux de décroissance extrêmement rapide.

4° La densité et son taux de diminution diffèrent selon les directions. Bogue a partagé les zones d'influence des soixante-sept villes en secteurs de trois types : secteurs *routiers*, secteurs *sous-dominants* et secteurs *locaux*. Il a délimité douze secteurs de trente degrés sur un calque transparent, qu'il a fait pivoter autour du centre de la grande ville, jusqu'à obtenir le « meilleur ajustement » avec les principales routes allant de cette ville aux autres grandes aires métropolitaines (fig. 4.4 B). Il a classé

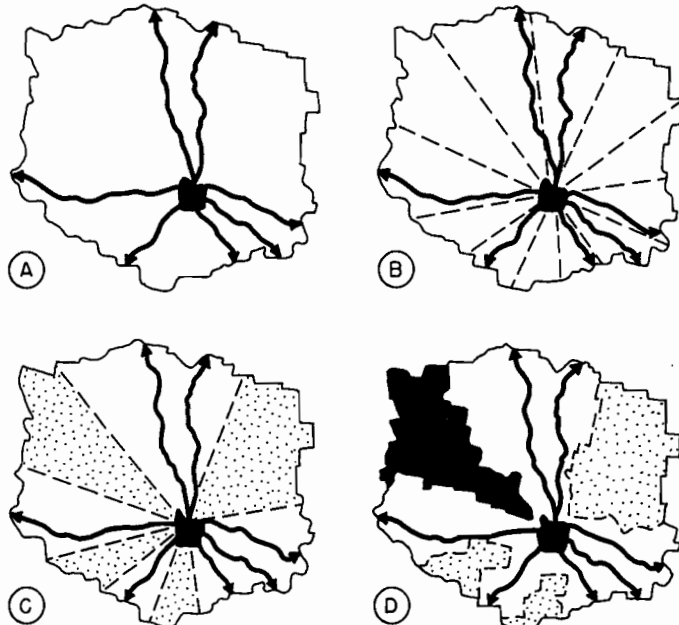


Fig. 4.4 — Étapes de la classification des zones qui entourent les villes en types de secteurs.

Source : BOGUE, 1949, p. 25.

les secteurs contenant une route principale comme secteurs routiers, ceux contenant au moins une ville de 25 000 habitants ou plus comme secteurs sous-dominants, et les secteurs restants comme secteurs locaux. Dans chaque cas, il a mesuré la population urbaine et a affecté chaque comté à un ou plusieurs secteurs. A cause de la convergence des limites de secteurs, Bogue n'a pas appliqué cette façon de procéder près de la ville, et a noté les différences entre secteurs seulement pour les zones situées à plus de 25 miles du centre. La figure 4.4 représente les étapes de la délimitation des secteurs, pour l'une des villes, Memphis (Tennessee) : les secteurs routiers sont figurés en blanc, les secteurs sous-dominants en noir et les secteurs locaux en grisé.

L'examen des tendances de la densité, dans les trois types de secteurs (fig. 4.3 D, E, F), montre que la population urbaine la plus dense est celle des secteurs sous-dominants. Dans les secteurs routiers, l'extension de l'habitat urbain le long des grandes routes qui joignent les métropoles est moins forte qu'on pouvait l'escompter; dans les secteurs locaux, le niveau de la densité est bien inférieur à celui des deux autres types.

EFFETS DE DISTORSION DUS À LA LOCALISATION DES RESSOURCES

L'hypothèse du treillis triangulaire de l'habitat implique que les ressources dont chaque unité d'habitat a besoin sont partout disponibles. Si, cependant, pour une unité d'habitat assez simple, le village, on dresse la liste de ses besoins traditionnels — terres de culture, eau, matériaux de construction, combustible, etc. —, il est évident que ces ressources sont en fait strictement localisées. L'analyse complète du problème de la localisation d'énergie minimale, dans le cas où les ressources sont localisées en certains endroits, ne sera présentée qu'au chapitre suivant (5, section 4); mais il est clair que les différents besoins vont exercer une attraction différente sur la localisation de l'habitat, et que le treillis régulier subira une distorsion, dont la figure 4.5 donne une idée. Dans le premier cas, sept unités d'habitat sont distribuées régulièrement sur des surfaces où les ressources sont uniformément réparties (fig. 4.5 A). Dans le deuxième est introduite une ressource située uniquement dans un secteur, figuré en grisé (fig. 4.5 B). Dans l'hypothèse que toutes les unités d'habitat doivent avoir accès à cette ressource, mais qu'elles vont s'éloigner le moins possible des positions définies par le treillis, on obtient un ensemble de nouvelles localisations, et aussi des changements du découpage en territoires déterminés par la méthode d'analyse de Thiessen (cf. pp. 277-278). Dans le troisième cas, une ressource est supposée répartie linéairement (par exemple un cours d'eau, une voie de communication) et on calcule un changement adéquat de la localisation des unités d'habitat (fig. 4.5 C). Dans le dernier cas, on suppose une ressource ponctuelle (par exemple un puits, un site défensif) et les déplacements qui en résultent (fig. 4.5 D).

Ces quatre cas sont évidemment hypothétiques; dans la réalité, des distorsions aussi nettement définies n'apparaissent pas. Néanmoins, si on les compare au tableau des formes d'habitat identifiées par les spécialistes européens (Jones, 1964, pp. 123-127), un certain nombre de similitudes apparaissent. On peut reconnaître sur la figure 4.5 A quelques caractéristiques de l'habitat rural dispersé (*Einzelhof*); sur

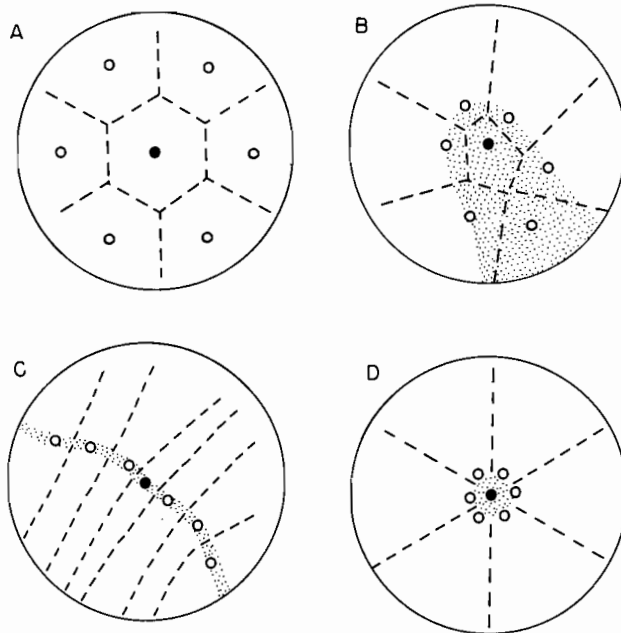


Fig. 4.5 — Série des types de répartition de l'habitat associés à une source de plus en plus strictement localisée.

la figure 4.5 C des traits qui rappellent le *Waldhufendorf*, le *Strassendorf* ou le *Marschhufendorf*, c'est-à-dire des villages en ligne dont le degré d'organisation et l'environnement diffèrent; sur la figure 4.5 D, le *Rundling*, avec son parcellaire rayonnant, ou le *Haufendorf*, avec son plan irrégulier d'*openfield*. Le développement réel des types régionaux de répartition de l'habitat résulte évidemment de l'action de variables multiples; les contraintes sociales y jouent un rôle aussi grand que celui du milieu. Cependant, des considérations géométriques élémentaires, même très modifiées, jouent un rôle dans cet ensemble.

Effets de distorsion dus à l'évolution historique

LES MODÈLES D'ÉVOLUTION DE L'HABITAT DANS LE TEMPS

L'un des problèmes posés par les modèles d'habitat de Christaller et de Lösch vient de leur caractère essentiellement statique; dans la réalité, le facteur temps complique la hiérarchie des places centrales. Ainsi, dans des régions telles que l'Est des États-Unis ou l'Est du Brésil, la hiérarchie de l'habitat est bien marquée dans les aires de peuplement ancien; dans les aires plus récemment peuplées, cette hiérarchie est encore en pleine évolution. Nous allons examiner ici deux orientations théoriques majeures, dans lesquelles le facteur temps est introduit explicitement : celle des modèles déterministes et celle des modèles probabilistes.

1° Une des rares tentatives faites pour placer l'expansion du peuplement dans un cadre déterministe est due à Bylund (1960). Une étude historique sur la colonisation du centre de la Laponie suédoise avant 1867 a conduit cet auteur à considérer la façon dont les « vagues » de peuplement se déplaçaient dans cette région; il a créé quatre modèles simples d'évolution (fig. 4.6). Pour chacun de ceux-ci, les hypothèses

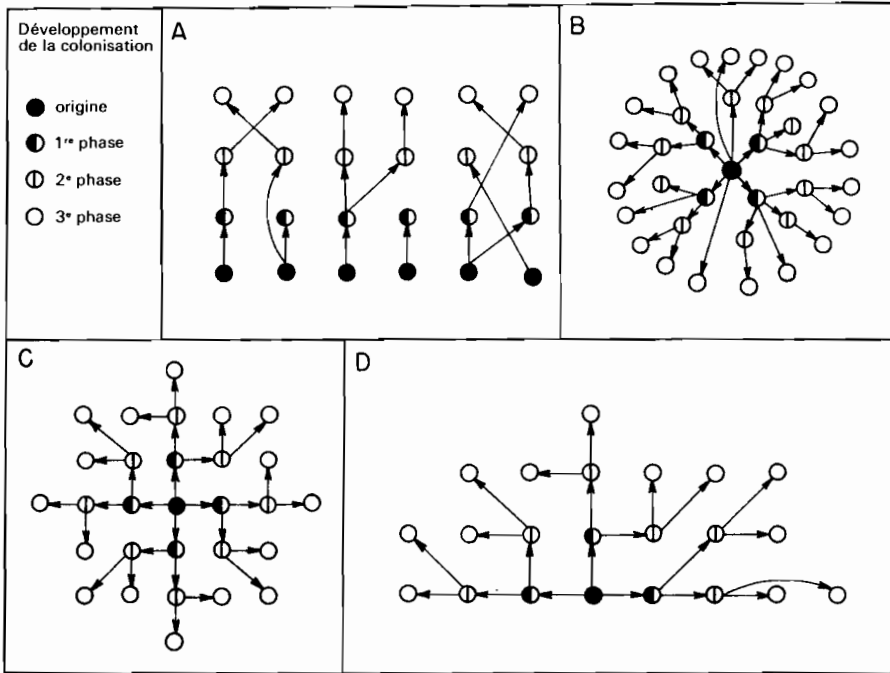


Fig. 4.6 — Modèles théoriques de diffusion du peuplement.
Source : BYLUND, 1960, p. 226.

de base sont les suivantes : 1° les conditions physiques du pays sont identiques dans tous ses secteurs (peuplés ou vides); 2° tant que les secteurs proches des « foyers » de migration n'ont pas été occupés, les secteurs plus éloignés ne sont pas colonisés. La seule différence majeure entre les quatre modèles réside dans le nombre et la localisation des « foyers »; il est clair que l'expansion est supposée avoir lieu à partir d'une localisation côtière dans les cas A et D, à partir d'une localisation à l'intérieur des terres dans les cas B et C.

Comme Thünen (chap. 6, section 2), Bylund essaie de réintroduire la réalité dans son modèle en faisant varier les conditions physiques du pays, l'accès aux routes, et le nombre des cultivateurs migrants qui, à chaque génération, s'en vont fonder de nouvelles fermes. La comparaison entre un modèle beaucoup plus affiné et les documents historiques concernant la paroisse d'Arvidsjaur de 1775 à 1867 fait appa-

raître une concordance suffisante pour suggérer qu'il serait intéressant de pousser la recherche sur ce type thünenien de modèle de croissance.

2° On peut aborder autrement l'étude de l'évolution du peuplement, en se plaçant dans un cadre probabiliste. Dans ce cas, la croissance est simulée par des processus aléatoires (technique dite de Monte-Carlo discutée au chapitre 10, section 3) qui sont, chacun à leur tour, limités par un cadre que définissent certaines « règles » fondées sur l'observation empirique du comportement des hommes en matière de peuplement.

Morrill (1962) fournit un exemple typique de cette façon d'aborder l'évolution du peuplement. Il considère d'abord un point de peuplement initial, et observe l'édification, autour de ce centre fondateur, d'une hiérarchie de l'habitat déterminée par une suite de nombres au hasard. Ces nombres peuvent être donnés par un dé, par un ordinateur, ou par des tables (cf. par exemple : Fisher et Yates, *Statistical Tables*, 1957, pp. 126-131). Les trois règles fondamentales suivies par Morrill sont les suivantes : 1° Pour chaque période ou génération ($T_0, T_1, T_2, \dots, T_n$), chaque localité, selon son rang d'origine, produit au moins un émigrant, le nombre total des émigrants de chaque localité étant proportionnel à la taille de celle-ci. 2° Toute localité peut recevoir des immigrants plus d'une fois, et s'agrandir, pourvu que soit respectée la « règle de compatibilité de distance » qui limite la taille d'une localité en fonction de la distance qui la sépare de localités plus grandes (par exemple, un point de peuplement situé à cinq cases de distance du point origine peut s'accroître jusqu'à cinq, puis il stagne). 3° La longueur et la direction du déplacement de chaque migrant sont déterminées par les nombres d'une matrice de probabilité (fig. 4.7 A) fondée sur l'étude empirique, faite par Kulldorff (1955) et Hägerstrand (1957), de mouvements locaux de population en Suède.

La figure 4.7 B présente un exemple simple, donné par Morrill, de la croissance d'une hiérarchie comprenant six unités de peuplement (A, B, ..., F). La séquence commence par l'unité de peuplement isolée A, située au bord de la mer. Les nombres

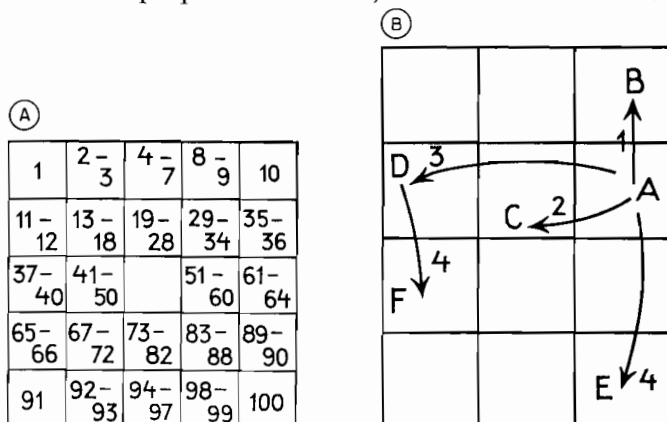


Fig. 4.7 — A. Matrice de probabilité donnant les distances et les directions. — B. Exemple de séquence de simulation utilisant la méthode de Monte-Carlo.

Source : MORRILL, 1962, p. 112.

entre parenthèses sont des nombres au hasard. *Première génération* : (10) — impossibilité (dans la mer); (22) — localisation d'une nouvelle unité de peuplement, *B*; *A* atteint la taille « deux ». *Deuxième génération* : (24) — impossibilité (*B* ne peut pas dépasser la taille « un », étant distant de *A* d'une case seulement); (42) — localisation d'une nouvelle unité de peuplement, *C*; *A* atteint la taille « trois ». *Troisième génération* : (37) — localisation d'une nouvelle unité de peuplement, *D*; *A* atteint la taille « quatre », mais *B* et *C* sont trop proches de *A* pour pouvoir s'accroître encore. *Quatrième génération* : (96) — localisation d'une nouvelle unité de peuplement, *E*; (77) — localisation d'une nouvelle unité de peuplement, *F* (N.B. : la matrice est centrée sur *D*, qui est point d'origine de la création de *F*); *A* atteint la taille « cinq »; *D* atteint la taille « deux ». A la fin de cette séquence, qui utilise sept nombres au hasard (10, 22, 24, 42, 37, 96 et 77) et la matrice de probabilité de la figure 4.7 A, une hiérarchie comprenant six unités de peuplement s'est formée; elle comporte une seule grande unité de peuplement (*A*, dont la taille est « cinq »), une seule unité moyenne (*D*, dont la taille est « deux ») et quatre unités plus petites (*B*, *C*, *E* et *F*, dont la taille est « un »).

En suivant ces règles et en recentrant à chaque opération la matrice sur l'unité de peuplement dont les migrants sont originaires, on peut édifier peu à peu une hiérarchie qui simule un schéma général de répartition des unités de peuplement (mais pas leur localisation exacte) (fig. 4.8). Des hiérarchies et des rapports entre rang et taille se trouvent ainsi établis, même s'ils sont (comme dans la réalité) imparfaits et asymétriques.



Fig. 4.8 — Répartition du peuplement obtenue par simulation (méthode de Monte-Carlo).

Source : MORRILL, 1962, p. 119.

LES SCHÉMAS DE DIFFUSION OBSERVÉS

Décrire dans leur complexité les schémas des processus réels de diffusion est un problème de recherche historique qui exige une vaste documentation. Mitchell (1954), dans une savante reconstitution de l'évolution du peuplement de l'East Anglia, a regroupé des éléments d'information hétérogènes : noms de lieux, architecture religieuse, photographies aériennes. Sandner (1961), dans une remarquable enquête sur l'expansion de la colonisation espagnole à Costa Rica, se fonde davantage sur des documents d'archives et, pour les périodes plus récentes, sur les recensements. Ces deux études, et d'autres du même genre, ont cherché à identifier des phases distinctes dans les processus de peuplement; par exemple, Mitchell distingue le peuplement primaire des vallées et le peuplement secondaire des interfluves et Sandner décrit le processus par lequel les « foyers » de migration servent de base pour des créations ultérieures.

Chisholm (1962) a avancé l'idée que la diffusion d'unités de peuplement nouvelles et plus petites autour d'unités plus anciennes et plus grandes peut être liée à quatre grands types de changements : 1^o transformations, socio-économiques, du système de tenure des terres; 2^o disparition du besoin de s'agglomérer pour se défendre; 3^o élimination de facteurs, tels que les maladies, qui, précédemment, empêchaient le peuplement d'une contrée; 4^o améliorations techniques apportées à l'approvisionnement en eau. Dans les régions industrialisées, les plus importantes ont peut-être été les transformations des systèmes de tenure des terres. Hoskins, dans son ouvrage *The Making of the English Landscape* (1955, p. 157), a discuté l'effet produit par les « enclosures » sur de grandes étendues de terre, en Angleterre, entre 1750 et 1850. Des fermes isolées et des domaines remembrés se sont alors substitués aux villages nucléaires et aux terres partagées en bandes et soumises aux pratiques communautaires; dans le langage de la figure 4.5, on est retourné du type *D* au type *A*. A propos du Japon, Inouye a retracé le lent fractionnement de villages linéaires (type *C* de la figure 4.5) en formes plus dispersées. Pour le village de Kamitome, près de Tokyo, il a pu, grâce à la continuité de la documentation concernant les fermes et les tenures, retracer en détail l'évolution depuis la fin du xvii^e siècle : à mesure que la population augmentait, la largeur des exploitations en forme de bandes diminuait progressivement, les nouvelles fermes se pressant le long de la route, conformément à la tradition, jusqu'au moment où le bord de la route s'est trouvé saturé. Alors, dans l'impossibilité de rétrécir davantage les bandes, les nouvelles fermes ont été installées à l'écart de la route (U.G.I., 1964).

Les nouveaux schémas de répartition des fermes dans le Sud de l'Italie, et les nouveaux plans de colonisation dans la « zone sèche » de Ceylan (Farmer, 1957), présentent des exemples des deuxième et troisième facteurs de dispersion de Chisholm. L'évolution technique, quatrième facteur de dispersion, a évidemment agi dans deux directions : tandis que le fil de fer barbelé et le moulin à vent métallique permettaient la dispersion du peuplement agricole des Grandes Plaines (Webb, 1927), des changements techniques ultérieurs, notamment l'automobile et la moissonneuse-batteuse, autorisaient le développement de l'agriculture absentéiste (cf. pp. 181-182).

Chisholm (1957) a fourni des données sur cet aspect de la concentration économique. Il a calculé, pour l'Angleterre et le Pays de Galles en 1956, le coût du ramassage du lait, des fermes au dépôt local d'où partent les chargements de gros vers la ville. Les variations du coût de ramassage suivaient de près celles du nombre de gallons collectés par mile parcouru par le camion. Pour les parcours de faible densité (cinq gallons par mile/camion), le coût du ramassage atteignait 3,8 pence par gallon, alors que pour les parcours de forte densité (40 gallons par mile/camion), il était seulement de 0,6 penny par gallon. La faible densité de certains parcours résulte de la combinaison de deux faits : l'éparpillement de petites fermes et la faiblesse de la production de lait par ferme; il est clair que collecter dans ces secteurs revient environ six fois plus cher que dans les secteurs de forte densité. Il en va de même pour la plupart des fournitures de services aux habitats largement éparpillés. L'électrification, l'adduction d'eau et le système d'égouts, le téléphone et les services postaux, les routes et les transports coûtent plus cher dans de tels secteurs.

2. LES GROUPEMENTS DE POPULATION : LA DISTRIBUTION DES TAILLES

Bien qu'il soit commode de considérer la population du monde comme répartie en une série de groupements discrets et isolés, il faut reconnaître que cette conception est quelque peu factice. La définition qu'on donne d'un groupement dépend largement de la façon dont on trace ses limites et dont on définit le terme « isolé ». Ainsi Inouye (U.G.I., 1964) définit une unité d'habitat isolée comme étant située à 150 mètres au moins de l'unité la plus proche. Bien entendu, il faut adopter un étalon artificiel de ce genre, mais il faut être prêt à le modifier quand il s'agit d'unités d'habitat plus importantes. Trouver une définition efficace de « la ville » est un problème complexe qui sera discuté au chapitre 7. Nous utiliserons l'excellente enquête faite par l'*International Urban Research Unit* de l'université de Californie (Berkeley), qui a essayé de normaliser, pour le monde entier, la définition des « aires métropolitaines » (*International Urban Research*, 1959).

L'examen des informations disponibles sur les grands groupements, ceux qui ont la taille d'une ville, donne une impression de remarquable régularité. De même qu'un réseau de drainage est régulièrement ramifié (Leopold, Wolman et Miller, 1964), de même chaque groupement occupe une place définie dans la hiérarchie des villes, le système entier apparaissant comme « une chaîne, presque une chaîne féodale de vassalité, dans laquelle une ville peut être tributaire d'un centre plus grand et être cependant la métropole d'une assez grande région » (Careless, 1954, p. 17). Comme le montre le tableau 4.3, il existe relativement peu de grandes villes, beaucoup de villes de taille moyenne, et une armée de petites villes, que l'on établisse des statistiques à l'échelle du monde, d'un seul pays (par exemple les États-Unis), ou d'une seule région de ce pays (par exemple le Texas) : aux trois échelles, l'effectif des groupements est manifestement fonction directe de leur taille. Ce fait, qui indique l'existence de liaisons assez régulières, a suscité un certain nombre de recherches visant à définir les rapports entre l'effectif et la taille.

TABLEAU 4.3

DISTRIBUTION DES VILLES D'APRÈS LEUR TAILLE ¹

	Texas	États-Unis	Monde ²
Villes de 100 000 à 250 000 habitants	6	65	565
Villes de 250 000 à 500 000 habitants	3	23	163
Villes de 500 000 à 1 000 000 d'habitants	1	13	86
Villes de plus d'1 000 000 d'habitants	1	5	53

1. Données pour le début de la décennie 1950-1960.
2. Quarante pays.

Sources : International Urban Research, *The World's Metropolitan Areas*, 1959; B.J.L. BERRY, in *Economic Development and Cultural Change*, 9, 1961, p. 588.

Les relations entre le rang et la taille

Il y a plus d'un demi-siècle qu'Auerbach (1913) a noté l'existence d'une liaison régulière entre la taille des villes et leur rang. On peut formaliser cette liaison en l'appelant *règle de la taille selon le rang*; cette règle s'énonce par la formule :

$$P_n = P_1 (n)^{-1}$$

Dans cette formule, P_n est la population de la ville qui a le n ème rang, toutes les villes d'une région étant rangées selon l'effectif de leur population, par ordre décroissant; P_1 est la population de la plus grande ville (la ville première). Théoriquement, par conséquent, la population de la cinquième ville devrait être exactement égale à un cinquième de la population de la plus grande ville, si la règle de la taille selon le rang décrivait parfaitement la liaison. Isard (1956, p. 58) a montré qu'aux États-Unis, en 1940, P_1 (la population de New York) étant égale à 11 690 000, la valeur de P_5 devait être égale à 2 338 000. En fait, la population de la cinquième ville, Boston, était de 2 351 000.

Stewart (1958) a souligné que cette règle est un résultat empirique, non une proposition théorique ou logique. Christaller et Lösch se sont l'un et l'autre intéressés, dans leurs modèles théoriques, à la détermination de catégories d'après les fonctions plutôt que d'après la taille (chap. 5, section 1). Mais Beckmann (1958) a montré comment, par introduction d'un facteur aléatoire, les échelons discrets de la hiérarchie de Christaller peuvent se fondre en une distribution des tailles des villes selon leurs rangs. Il n'en faut pas moins apprécier l'utilité de cette « règle » par l'aide qu'elle apporte quand il s'agit de tirer une idée générale d'observations sur la distribution de la population.

Il est plus facile d'obtenir des données sur les niveaux supérieurs de la hiérarchie des villes, et il n'est pas étonnant que l'intérêt se soit porté principalement sur l'application de la règle aux grandes villes. Stewart (1958) a étudié le rapport entre la population de la première ville (P_1) et celle de la deuxième (P_2), dans un échantillon de soixante-douze pays. Il a constaté que les rapports (P_2/P_1) ne se groupaient pas autour

de la valeur 0,50, qui est la valeur théorique selon la règle, mais que, pour l'ensemble de l'échantillon, la valeur médiane du rapport était 0,31 (autrement dit, la taille caractéristique de la deuxième ville était égale à un tiers de la taille de la première). Les valeurs du rapport s'étendaient de 0,65 (valeur atteinte pour des pays tels que le Canada) à 0,06 (pour l'Uruguay). Stewart n'a guère découvert de constantes dans la distribution de ces rapports, sinon la tendance des grands pays à avoir des rapports de valeur élevée. Pour six de ces pays (Australie, Brésil, Canada, Inde, États-Unis et U.R.S.S.), il a aussi calculé les rapports P_2/P_1 au niveau des diverses divisions administratives (États, provinces, etc.). Les valeurs obtenues s'étendaient de 0,43 (valeur médiane obtenue pour les États-Unis) à 0,07; cette dernière valeur, remarquablement basse, étant celle de l'Australie, où cinq États sur six sont, chacun, fortement dominés par un grand centre urbain. Ici, encore, au niveau provincial, les résultats donnent à penser que les rapports sont de valeur inférieure à la valeur théorique prévue par la règle de la taille selon le rang.

Les résultats fondés sur les deux principales villes sont évidemment très variables. Plusieurs auteurs (Zipf, 1949; Stewart, 1958; Gibbs, 1961, pp. 438-451) ont poursuivi l'étude de cette liaison en descendant plus bas dans la gamme des villes. La figure 4.9 A

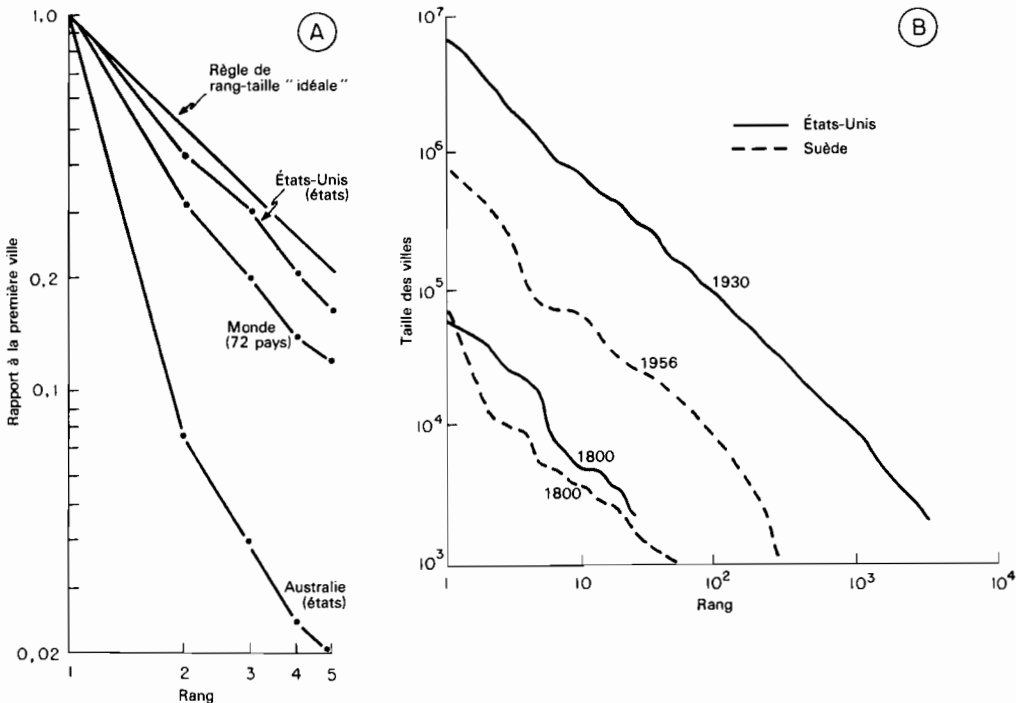


Fig. 4.9 — A. Valeur médiane des rapports de la population des 2^e, 3^e, 4^e et 5^e villes à la population de la 1^{re} ville. — B. Évolution de la distribution des villes d'après leur taille, en Suède et aux États-Unis.

Sources : STEWART, 1958, pp. 228, 231; ZIPF, 1949.

présente les rapports obtenus pour les cinq plus grandes villes, dans un certain nombre de pays très différents les uns des autres : pour les États-Unis, leurs valeurs concordent assez étroitement avec la suite théorique (1; 0,50; 0,33; 0,25; 0,20), tandis que la divergence est très nette pour l'Australie. En étendant l'étude de la liaison entre le rang et la taille à toute la gamme des villes pour lesquelles on dispose de données, on obtient des courbes semblables à celles de la figure 4.9 B, qui présentent deux cas opposés : celui des États-Unis (en traits continus), dans lequel les courbes sont relativement rectilignes, et qui confirme la forme générale de la règle de la taille selon le rang, et celui de la Suède (en tireté), où la courbe est en forme d'S. La comparaison des courbes des deux pays fait apparaître une linéarité de plus en plus nette avec le temps dans le cas des États-Unis, mais une irrégularité de plus en plus marquée dans le cas de la Suède. Ici encore, les deux cas suggèrent l'existence d'une certaine variation de la distribution des villes selon leur taille, aussi bien dans l'espace que dans le temps.

Caractère général de la liaison : distributions log-normales

LA FORME DE LA DISTRIBUTION

Le fait que la règle de la taille selon le rang apparaît sous la forme d'une droite sur papier bilogarithmique (fig. 4.9 B) incite à penser qu'il est possible de la considérer simplement comme une partie d'une distribution logarithmique tronquée. Abordant ainsi le problème, Berry (1961-A) a étudié la distribution des villes d'après leur taille dans trente-huit pays choisis de façon à représenter équitablement toutes les parties du monde, sauf l'Afrique (qui était sous-représentée). Les pays de l'échantillon s'échelonnaient, du point de vue de leur taille, de la Russie soviétique au Salvador; les données utilisées concernaient le début de la décennie 1950-1960. La population statistique étudiée consistait en 4 187 villes de plus de 20 000 habitants; cependant, pour quelques pays, notamment la France, les données concernant les classes inférieures n'étaient pas disponibles.

Pour chaque pays, Berry a porté en ordonnée le nombre des villes, en pourcentages cumulés, et en abscisse la taille des villes. Il a porté les ordonnées sur une échelle gaussienne, et les abscisses sur une échelle logarithmique; dans ces conditions, une distribution log-normale doit apparaître simplement sous la forme d'une ligne droite. En employant ce type de graphique, Berry a identifié deux types principaux de distribution des villes selon leur taille, et une classe intermédiaire. Il a classé treize pays, sur trente-huit, comme ayant une distribution *log-normale* (correspondant à la règle de la taille selon le rang); parmi eux se trouvent aussi bien des pays très développés comme les États-Unis (*a*) que des pays sous-développés comme la Corée (*b*); aussi bien de grands pays comme la Chine (*c*) que de petits pays comme le Salvador (*d*) (fig. 4.10 A). Berry a classé quinze autres pays comme ayant une distribution *primatale*, présentant un intervalle bien marqué entre la ou les villes placées en tête de la distribution et les villes plus petites. Tous les pays de ce groupe sont petits, mais les caractéristiques de leurs courbes varient beaucoup : sur la courbe de la Thaïlande (*a*)

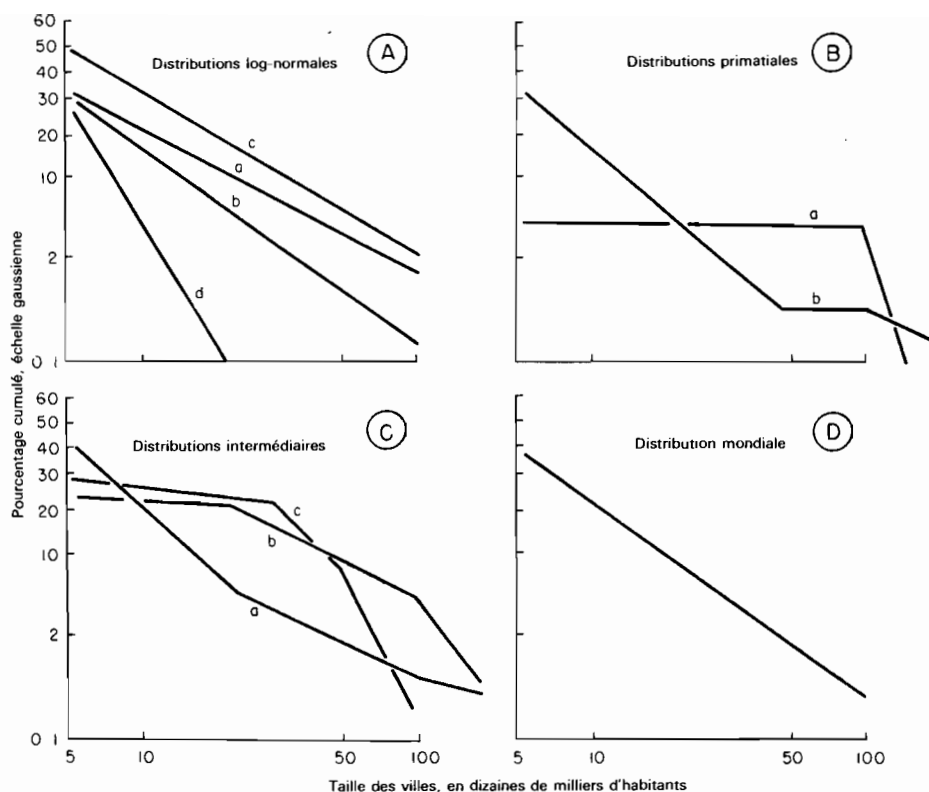


Fig. 4.10 — Formes de distributions des villes selon leur taille.
 Source : BERRY, 1961-A, pp. 575-578.

rien ne rappelle la courbe log-normale, tandis que sur celle du Danemark (*b*) des traces de la distribution log-normale réapparaissent dans la partie inférieure de la gamme des tailles, et que celle du Japon ne présente qu'une petite cassure par rapport au modèle log-normal.

Entre ces deux classes, Berry identifie une distribution *intermédiaire*, qui concerne neuf pays, parmi lesquels des pays comme l'Angleterre et le Pays de Galles (*a*), où « les villes premières sont surajoutées au sommet d'une distribution log-normale complète aplatie » (Berry, 1961-A, p. 576), ou comme l'Australie (*b*), où les petites villes manquent à la courbe log-normale, ou comme le Portugal (*c*), dont la distribution curieusement « biseauté » présente une section moyenne log-normale (fig. 4.10 C). La superposition des courbes de l'ensemble des trente-huit pays (fig. 4.10 D) fait apparaître leur caractère général : il existe une tendance bien marquée, au niveau mondial, vers le modèle log-normal.

L'INTERPRÉTATION DES FORMES DE LA LIAISON ENTRE TAILLE ET NOMBRE DES LOCALITÉS

Que signifient les différences observées entre ces diverses formes de la distribution des villes selon leur taille? Berry propose deux groupes d'hypothèses.

1° Le premier groupe d'hypothèses contient des idées qui semblent logiques dans l'abstrait, mais que l'observation empirique n'a pas confirmées. On peut par exemple proposer une *hypothèse d'urbanisation* selon laquelle le type de distribution est lié au degré d'urbanisation. Cependant, si on rapporte graphiquement le degré d'urbanisation, mesuré par la proportion de la population totale d'un pays vivant dans des villes de 200 000 habitants ou plus, à la distribution des villes selon leur taille, on ne constate aucune liaison. Par exemple, on rencontre le modèle primatial aussi bien dans des pays très urbanisés (comme les Pays-Bas ou le Japon) que dans des pays en grande partie ruraux (comme le Mexique ou la Thaïlande). Il en va de même en ce qui concerne le modèle log-normal.

Une deuxième hypothèse, l'*hypothèse de développement économique*, a aussi été testée, et s'est également révélée inefficace. Dans ce cas, la distribution des villes selon leur taille est rapportée au degré de développement économique, qui est mesuré d'après une échelle calculée par Berry (1960) à partir de quarante-trois indices de développement économique (cf. ci-dessus pp. 90-93). Si le développement économique et la distribution des villes selon leur taille sont liés, on doit théoriquement trouver tous les pays ayant une distribution primatale à une extrémité de l'échelle et tous les pays ayant une distribution log-normale à l'autre extrémité. En fait, comme la figure 4.11 le montre, la répartition est essentiellement aléatoire.

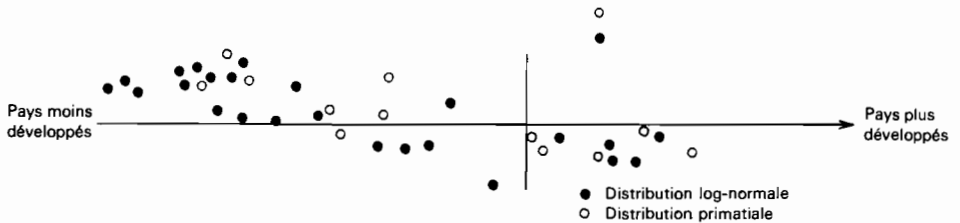


Fig. 4.11 — Répartition, sur l'échelle de développement de Berry, des pays à distribution log-normale et des pays à distribution primatale.

Source : BERRY, 1961-A, p. 586.

Les pays ayant une distribution primatale (représentés par des cercles creux) et les pays ayant une distribution log-normale (représentés par des cercles pleins) sont répartis irrégulièrement, sans qu'il existe un groupement préférentiel en un point quelconque de l'échelle de développement. On peut donc conclure que l'hypothèse de développement économique ne peut être retenue.

2° Le second groupe d'hypothèses contient des idées qui semblent moins logiques et certainement moins claires dans l'abstrait, mais que confirment les données disponibles. Simon (1955) a proposé une *hypothèse stochastique* de caractère général, dont les implications sont importantes pour les distributions log-normale et primatale.

Il aborde l'étude de la distribution des villes selon leur taille du point de vue de la théorie générale des systèmes (chap. 1, section 3), en soutenant que, du fait de sa stabilité dans l'espace et le temps, la liaison entre le rang et la taille des villes peut être considérée comme un phénomène d'état stable, c'est-à-dire un état d'entropie dans lequel la distribution est soumise à une myriade de petites forces aléatoires. Simon a rapproché la règle de la taille selon le rang d'une formulation probabiliste que Yule a employée en 1924 pour expliquer la distribution des espèces biologiques, et dans laquelle la distribution log-normale est présentée comme cas limite de processus stochastiques de croissance. Berry et Garrison (1958-c) ont testé le modèle de Simon à propos de la distribution des villes selon leur taille dans l'État de Washington aux États-Unis et, comme le tableau 4.4 le montre, l'approximation obtenue est assez bonne.

TABLEAU 4.4

DISTRIBUTION OBSERVÉE DES VILLES SELON LEUR TAILLE
ET DISTRIBUTION THÉORIQUE D'APRÈS LE MODÈLE DE SIMON¹

Nombre de villes	Nombre d'habitants ($\times 10^4$)			
	0,5	1,5	2,5	3,5
Nombre observé	36	12	7	5
Nombre théorique (d'après le modèle de Simon)	36	14	9	6

1. État de Washington, États-Unis, 1950.

Source : B. J. L. BERRY et W. L. GARRISON, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1958, p. 89.

En ce qui concerne les deux modèles de distribution par pays, modèle log-normal et modèle primatial, Berry (1961-A) a soutenu que la démarche de Simon implique deux groupes d'hypothèses secondaires. Premier groupe : les modèles log-normaux sont le produit de l'urbanisation, dans des pays qui : (a) sont plus grands que la moyenne, (b) ont une longue tradition d'urbanisation, (c) sont économiquement et politiquement complexes. Parmi les treize pays de ce groupe, les États-Unis et le Brésil vérifient l'hypothèse a, l'Inde, la Chine et les six pays d'Europe vérifient l'hypothèse b, et il est possible que l'Afrique du Sud vérifie l'hypothèse c. Évidemment, certains pays vérifient les trois hypothèses; il apparaît, par contre, que deux pays du groupe log-normal, la Corée et le Salvador, n'en vérifient aucune.

Deuxième groupe d'hypothèses secondaires : on peut soutenir que les modèles primatiaux sont le produit du développement des villes dans des pays : (a) qui sont plus petits que la moyenne, (b) dont l'urbanisation est récente, (c) qui sont, économiquement ou politiquement, simples. Il est certain que les quinze pays de ce groupe sont de taille petite à moyenne, et que, dans certains, apparaît clairement l'effet d'un petit nombre de forces puissantes. Ainsi, les capitales du Portugal, de l'Espagne, de l'Autriche et des Pays-Bas se sont développées de façon à desservir des Empires plutôt qu'en harmonie avec la hiérarchie urbaine locale : par exemple, la taille de

Vienne est logique dans le cadre de l'Empire austro-hongrois plutôt que dans celui de l'Autriche contemporaine. D'autres pays possèdent soit un secteur commercial d'exportation superposé à un système agricole traditionnel (par exemple l'économie « dualiste » de Ceylan), soit un vigoureux système d'exportation de produits primaires (par exemple l'Uruguay), soit une seule ville « occidentalisée » (par exemple la Thaïlande).

La partie inférieure de la distribution : un problème non résolu

Une des difficultés que soulèvent les deux façons de considérer le continuum formé par les tailles des unités de peuplement (règle de la taille selon le rang et distribution log-normale tronquée) est que l'une et l'autre s'appliquent mal à l'extrémité inférieure de la distribution. Selon les deux règles, le nombre des unités de peuplement devrait continuer à croître à mesure que leur taille décroît, de sorte que, théoriquement, il devrait exister non seulement plus de villages que de villes, mais plus de hameaux que de villages, plus de maisons isolées que de hameaux. Les mêmes postulats sont sous-jacents aux idées présentées par Christaller et Lösch sur la hiérarchie fonctionnelle (chap. 5, section 1). Mais on sait que cette liaison n'est pas universellement valable : il peut se faire que les maisons isolées ne soient pas plus nombreuses que les hameaux.

Gunawardena (1964) a étudié la répartition de l'habitat dans le Sud de Ceylan, et a pu décomposer le peuplement en groupes distincts, au niveau du quartier de village. La distribution des unités d'habitat selon leur taille, portée sur papier bilogarithmique, est présentée dans la figure 4.12.

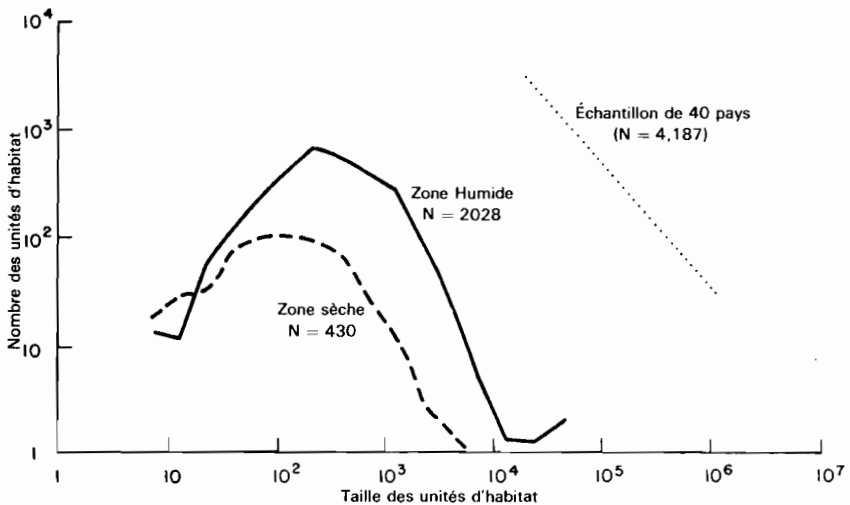


Fig. 4.12 — Distributions de fréquences de la taille des unités d'habitat dans la zone humide et dans la zone sèche du Sud de Ceylan.

Source : GUNAWARDENA, 1964, p. 167.

arithmique (fig. 4.12), présente, tant pour la zone humide que pour la zone sèche, une courbe caractéristique, d'après laquelle il est possible de considérer cette distribution comme log-normale. Ces résultats donnent à penser que les études faites jusqu'à présent sur les grands groupements de population n'ont, en fait, décrit qu'une partie (la partie supérieure ou urbaine) du continuum formé par les unités d'habitat. En effet, si on porte les données du tableau 4.3 sur le graphique de Gunawardena, elles décrivent en gros une parallèle à la partie supérieure des distributions caractéristiques des deux zones. Il peut donc être nécessaire d'examiner la partie inférieure, celle qui correspond aux « quartiers de villages », pour voir si la règle de la taille selon le rang peut y être inversée, à peu près comme, Hjülström l'a constaté, la liaison entre la taille des particules et la sensibilité à l'érosion s'inverse dans les classes inférieures de dimension, parce que les particules très petites forment des agrégats (Scheidegger, 1961, p. 135). Il est difficile d'obtenir des données à ce niveau, ce qui pose des problèmes particuliers; des enquêtes sur le terrain sont probablement nécessaires, plutôt que l'exploitation secondaire de recensements, pour clarifier les liaisons intéressantes existant, à ce niveau assez peu connu, entre le nombre et la taille des groupements.

3. LA TAILLE ET L'ESPACEMENT DES GROUPEMENTS

L'espacement de groupements discrets

Supposons, sans tenir compte des résultats obtenus par Gunawardena (*cf.* ci-dessus), que la règle de la taille selon le rang soit effectivement valable; alors, théoriquement, l'espacement des unités d'habitat devrait être régi en grande partie par leur taille. Les grandes unités d'habitat seraient largement espacées, les petites peu espacées. A propos de types discrets de peuplement, Christaller (1933) et Lösch (1954) ont montré que cette proposition peut être valable, au moins pour des régions bien déterminées. Dans le Sud de l'Allemagne, Christaller a examiné en détail la hiérarchie des petites villes et des villages situés autour des cinq grandes capitales régionales (Francfort, Munich, Nuremberg, Strasbourg et Stuttgart) : alors que la distance qui sépare celles-ci est de 178 kilomètres, la distance qui sépare les chefs-lieux de provinces plus petites est de 108 kilomètres seulement, celle qui sépare les chefs-lieux d'arrondissement de 21 kilomètres, et celle qui sépare les villages de 7 kilomètres. Les observations de Lösch concernant l'Iowa, dans le centre des États-Unis, sont représentées par la figure 4.13, qui suggère l'existence d'une liaison étroite entre la taille et l'espacement, pour trois classes de localités, qui ont de 300 à 1 000 habitants (fig. 4.13 A), de 1 000 à 4 000 habitants (fig. 4.13 B) et de 4 000 à 20 000 habitants (fig. 4.13 C). Cette figure donne aussi à penser que l'espacement est d'autant plus variable que la taille augmente.

Depuis les années 1930, à ces résultats se sont ajoutés des travaux tels que celui de Brush et Bracey (1955), qui ont comparé les centres ruraux du Sud-Ouest du Wisconsin (États-Unis) et ceux du Sud de l'Angleterre. Ces auteurs ont constaté qu'en dépit des différences bien marquées (en ce qui concerne la densité de population,

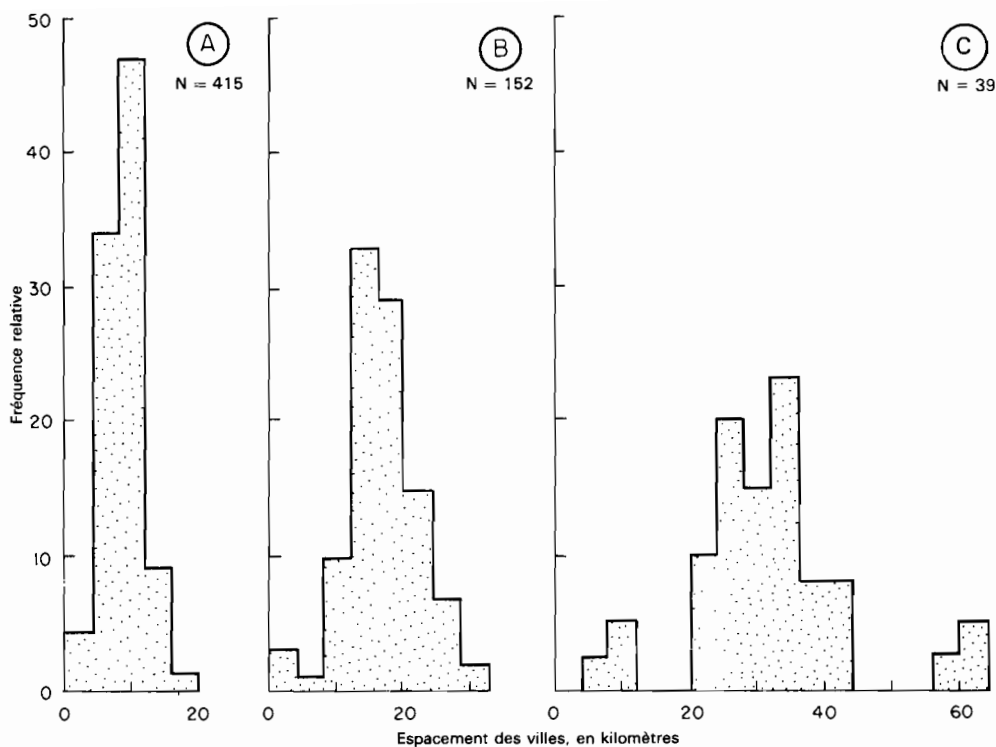


Fig. 4.13 — Histogrammes des distances, en ligne droite, qui séparent les petites villes (A), les villes moyennes (B) et les grandes villes (C), dans l'Iowa.

Source : LÖSCH, 1954, p. 391.

les fonctions économiques et l'histoire politique et sociale) existant entre les deux régions, l'une et l'autre présentaient deux niveaux distincts de places centrales : des centres de catégorie supérieure disposés à des intervalles de 21 miles, et des centres de catégorie inférieure disposés à des intervalles de 8 à 10 miles.

Des liaisons quelque peu différentes ont été découvertes par House (1953), dans une étude sur les villes de taille moyenne appartenant à ces deux mêmes sociétés industrielles. House a défini les villes de taille moyenne comme ayant de 20 000 à 100 000 habitants, et étudié leur distribution en Angleterre, au Pays de Galles, et dans la partie occidentale de la grande zone industrielle (*manufacturing belt*) des États-Unis (Illinois, Indiana, Michigan, Ohio et Pennsylvanie). Comme le montre le tableau 4.5, les deux aires étudiées avaient des effectifs de population à peu près comparables, mais, dans cette région des États-Unis, la densité de population était deux fois moins forte, et les villes de taille moyenne environ trois fois moins nombreuses, qu'en Angleterre et au Pays de Galles. Dans les deux cas, la distance séparant les villes augmente généralement avec la taille des villes; mais ces distances sont très inférieures aux valeurs obtenues par Christaller. Selon ce dernier, les intervalles

TABLEAU 4.5
ESPACEMENT DES VILLES DANS DEUX RÉGIONS INDUSTRIELLES

	Angleterre Pays de Galles (1951)	États-Unis (1950)
Population (en millions d'habitants)	43,8	37,5
Densité (en habitants par mile carré)	134	63
Nombre de villes de taille moyenne	316	123
Espacement moyen des villes de taille moyenne, en miles :		
— villes de 20 à 30 000 habitants	6,1	14,6
— villes de 40 à 50 000 habitants	7,9	28,3
— villes de 75 à 100 000 habitants	10,0	38,0

Source : J. W. HOUSE, in *Planning Outlook*, 1953, p. 63.

entre villes de 30 000 habitants sont d'environ 38 miles dans le Sud de l'Allemagne; en Angleterre et au Pays de Galles, le chiffre correspondant est d'environ 7 miles, et, aux États-Unis, d'environ 25 miles. Les différences entre ces résultats proviennent en grande partie des caractéristiques de l'industrie dans ces dernières régions. Il est difficile de donner des définitions exactes, les classifications employées dans les recensements étant très différentes. Environ la moitié des villes britanniques sont des villes minières et industrielles, dont beaucoup sont encore agglomérées sur les gisements de houille qui sont à l'origine de leur localisation. Aux États-Unis, les villes sont moins spécialisées, et, s'étant développées plus tard, moins concentrées sur les gisements. Le niveau atteint par l'industrialisation et l'époque à laquelle elle a eu lieu ont donc modifié profondément les caractéristiques d'espacement.

L'espacement, fonction continue

LA DÉFINITION DE L'ESPACEMENT

A côté des études sur les caractéristiques moyennes des groupements de population, il en est qui considèrent l'espacement comme une fonction continue. Dans ces dernières, la méthode d'analyse dépend de la définition adoptée pour l'« espacement »; dans la plupart des cas, l'espacement est mesuré par la distance en ligne droite entre une unité d'habitat et ses « plus proches voisins de même taille ». Cependant, comme Thomas (1961) le fait remarquer, ceci ne signifie pas nécessairement que les populations des deux villes ont *exactement* la même taille, mais plutôt qu'elles ont *approximativement* la même taille. Thomas introduit le concept de probabilité, qui donne beaucoup plus de précision au choix de la taille que l'on qualifie d'« approximativement la même ». Il montre, à partir d'un échantillon dont la distribution est proche d'une courbe log-log-normale, qu'en adoptant un seuil de confiance donné (par exemple 95 %) on peut définir l'intervalle numérique dans lequel se trouvera, théoriquement, la localité voisine la plus proche ayant « la même population ». La formule générale peut être écrite ainsi :

$$S_i - xE_i \leq N_i \leq S_i + xE_i$$

Dans cette formule, S_i est la population de la localité échantillon, N_i la population de la plus proche voisine, E_i l'erreur aléatoire et x l'écart-type de la loi normale associée au seuil de confiance choisi (Thomas, 1961, p. 405). En termes simples : si la localité échantillon a une population de 105 habitants, on peut définir, pour la plus proche voisine, la « même population » comme comprise entre 72 et 159 habitants. Toute différence de population comprise entre ces limites peut être considérée comme due au hasard, et négligée. Le fait que les limites sont disposées asymétriquement de part et d'autre de 105 est dû aux caractéristiques de la courbe log-log-normale correspondant à la « population » étudiée (les villes de l'Iowa).

L'ESPACEMENT ET LA TAILLE DES GROUPEMENTS

Utilisant cette définition, Thomas (1961) a étudié la liaison entre la population et l'espacement, pour quatre-vingt-neuf localités échantillons situées dans l'Iowa (fig. 4.14). L'étude statistique fait apparaître, conformément à la théorie, une association positive entre le logarithme de la distance et l'effectif de population; mais la proportion de la variation des distances « expliquée » par les variations d'effectifs n'est que d'un tiers environ ($R^2 = 0,35$). Dans une étude complémentaire, Thomas (1962) vérifie ces résultats, obtenus à partir des effectifs de population de 1950, en

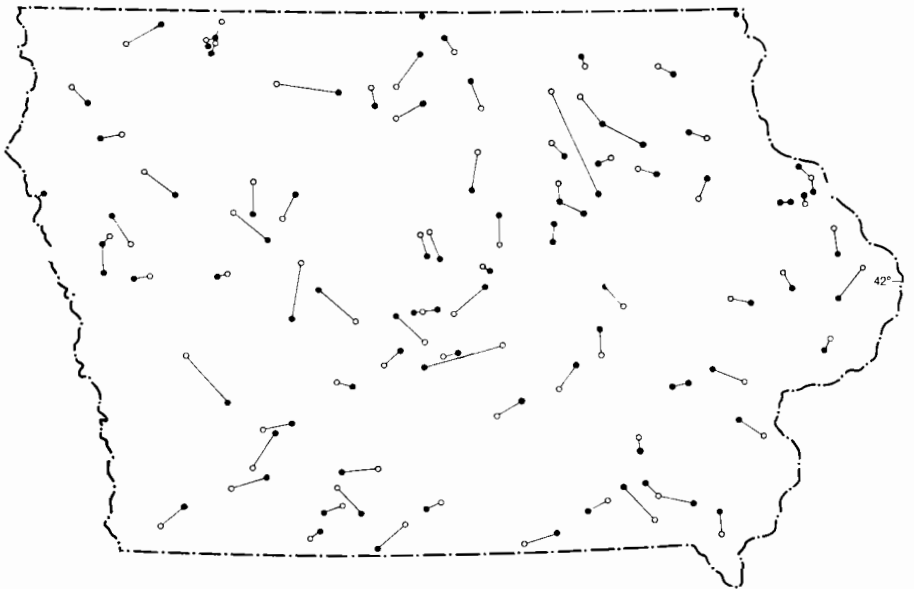


Fig. 4.14 — Plus proches voisines d'unités d'habitat échantillons, dans l'Iowa ($G = 3,5$). Les liaisons avec des unités d'habitat situées à l'extérieur de l'État ne sont pas représentées.

Source : THOMAS, 1961, p. 408.

faisant les mêmes calculs sur les cinq premiers recensements du xx^e siècle. Il constate une stabilité étonnante de la liaison entre la distance et la taille. C'est seulement pour le recensement de 1900 que le degré de corrélation présente une différence marquée avec celui obtenu pour le recensement de 1950; même dans ce cas, la liaison s'avère statistiquement significative, au seuil de confiance de 95 %. Thomas compare également les distances séparant les villes échantillons de leurs voisines de « même taille » (hypothèse 1) aux distances séparant les villes échantillons de leur voisine « de même ou de plus grande taille » (hypothèse 2).

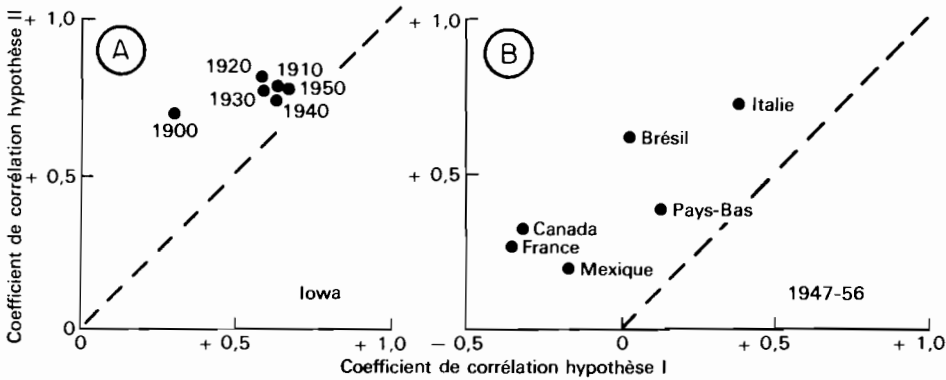


Fig. 4.15 — Corrélations entre deux hypothèses possibles sur la liaison entre la taille des villes et leur espacement.

Sources : THOMAS, 1962, p. 27; GIBBS, 1961, p. 458.

Sur la figure 4.15 A, les valeurs des coefficients de corrélation obtenues d'après la première hypothèse sont rapportées à celles obtenues d'après la seconde. Les coefficients sont statistiquement significatifs pour les deux ensembles de valeurs (seuil de confiance : 95 %), mais la liaison la plus forte est toujours celle obtenue pour la seconde hypothèse. Il est clair que, dans l'Iowa, la taille des localités est étroitement liée à l'espacement, et que cette liaison est valable dans un sens hiérarchique, puisque les localités échantillons sont encore plus étroitement liées à leurs voisines quand celles-ci sont plus grandes. Reste à voir si la convergence dans le temps des deux ensembles de liaisons traduit une intégration croissante des relations entre les unités de peuplement.

Gibbs (1961, pp. 451-459) a confirmé les hypothèses de Thomas, en étudiant l'espacement des plus grandes villes de six pays (Brésil, Canada, France, Italie, Mexique et Pays-Bas). Il a trouvé (fig. 4.15 B) un coefficient de corrélation plus élevé entre la taille d'une aire métropolitaine et la distance qui la sépare de l'aire métropolitaine supérieure la plus proche, qu'entre sa taille et la distance qui la sépare de l'aire métropolitaine la plus proche. Il est remarquable qu'en dépit des différences entre les valeurs du coefficient (d'un pays à l'autre) ces valeurs soient toujours plus élevées pour la deuxième liaison.

L'ESPACEMENT, FONCTION COMPLEXE

Dans l'une des rares études où l'espacement ait été traité dans un contexte plus large, King (1961) a étudié plusieurs hypothèses en employant l'analyse de régression multiple. Considérant l'espacement comme fonction de la taille d'une localité, de sa structure de l'emploi, et des caractéristiques de la zone dans laquelle elle était située, King a tiré au hasard, dans le recensement fait aux États-Unis en 1950, un échantillon de 200 localités dont la taille variait de 5 habitants (Slaughter Beach, Delaware) à près de 500 000 habitants (Seattle, Washington). Il a déterminé la « plus proche voisine » de chaque localité échantillon en utilisant la définition probabiliste de Thomas (voir plus haut, p. 125), et fait une analyse de corrélation de l'espacement considéré comme fonction. Le tableau 4.6 indique que la liaison qu'il a découverte, bien que statistiquement significative, n'expliquait qu'environ 2 % des différences d'espacement. Le partage de l'échantillon en deux catégories, celle des places centrales et celle des places non centrales montre que la possibilité de prévoir l'espacement est plus grande pour la première catégorie que pour la seconde. De même, un partage des localités entre cinq grandes zones agricoles met en évidence des différences importantes entre les régions des États-Unis. Dans les Grandes Plaines et au Far-West, le seuil d'explication s'élève nettement, dépassant 40 %; il dépasse 20 % dans le *Corn Belt*; ceci donne à penser que les constantes décrites par Lösch (1954, pp. 389-393) pourraient être moins caractéristiques de l'ensemble des États-Unis qu'on ne l'a souvent supposé.

TABLEAU 4.6

LIAISONS ENTRE L'ESPACEMENT DES LOCALITÉS ET D'AUTRES VARIABLES¹

	Hypothèse simple (taille des localités)	Hypothèse multiple (six facteurs)
Coefficients de détermination (R^2)		
Résultats pour l'ensemble du pays	0,02 ²	0,25 ²
Classification des centres :		
Places centrales	0,09 ²	0,26 ²
Places non centrales	0,01	0,42 ²
Classification en régions agricoles		
Zone de pâturage et de blé	0,42 ²	0,67 ²
Zone d'agriculture spécialisée	0,01	0,20 ²
Zone d'agriculture non spécialisée	0,07	0,67 ²
Zone d'élevage et de céréales fourragères	0,22 ²	0,34 ²
Zone de production laitière	0,04 ²	0,36 ²

1. États-Unis, en 1950.

2. Significatif au niveau de confiance de 95 %.

Source : L. J. KING, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1961, pp. 227-231.

Ainsi, sauf dans le cas de quelques régions, l'emploi des effectifs de population pour prévoir l'espacement des localités n'a guère donné de résultats positifs. King a testé ensuite cinq autres hypothèses relatives aux caractéristiques de la région dans laquelle la localité est située, et à sa structure de l'emploi. Il soutient que les localités d'une taille donnée doivent probablement être plus largement espacées lorsque : 1° la densité de population rurale est faible; 2° l'agriculture est extensive; 3° la production agricole est faible; 4° la densité de la population totale est faible; 5° la proportion de ceux qui, dans la localité elle-même, travaillent dans l'industrie est faible. Par une analyse de régression, il montre que chacune de ces cinq variables compte plus que la taille des localités pour prévoir leur espacement, mais qu'une seule d'entre elles, la densité de la population totale, peut expliquer plus de 10 % des différences. A vrai dire, l'action simultanée des six variables ne peut expliquer qu'un quart des différences d'espacement; mais, ici encore, les résultats sont meilleurs pour certaines zones agricoles (dernière colonne du tableau 4.6). Il est évidemment très difficile de construire des modèles prévoyant avec précision les espacements, pour un territoire aussi grand que les États-Unis, où l'histoire des progrès du peuplement a été très dissemblable d'une région à l'autre. Dans l'avenir, des recherches employant les techniques d'analyse multivariée et comportant l'introduction de facteurs historiques dans le modèle permettront d'expliquer logiquement les fortes différences observées dans les caractéristiques d'espacement des localités urbaines.

LES HIÉRARCHIES

La question capitale de l'organisation hiérarchique des unités de peuplement n'a pas été traitée dans le chapitre précédent. Les deux grands théoriciens allemands de la localisation, Christaller et Lösch, ont élaboré quelques modèles assez complexes pour expliquer et illustrer leurs conceptions des hiérarchies spatiales. Nous allons examiner ces modèles, en même temps que les observations empiriques qui les confirment ou les infirment. La seconde moitié du chapitre est consacrée au cas des centres industriels qui « distordent » la hiérarchie régulière. En suggérant que cette distorsion est un fait moins fondamental qu'on ne le prétend parfois, nous essaierons de situer les modèles de localisation des industries, notamment celui de Weber, dans le cadre général de la localisation du peuplement.

1. LES HIÉRARCHIES FONCTIONNELLES DES UNITÉS DE PEUPELMENT

La taille et la fonction des groupements

Un fait a été établi depuis des décennies par les études sur les places centrales, et depuis toujours par l'expérience quotidienne : les grands centres de population possèdent une gamme de marchandises, de services et de fonctions plus étendue que celle des petits centres. En dépit de cet accord général, l'intérêt porté à la liaison entre taille et fonction n'a pas faibli. Il s'est plutôt tourné vers l'étude de cas aberrants, qui paraissent infirmer la règle, et vers l'étude de la *forme* exacte de la liaison entre taille et fonction.

LES LIAISONS CONTINUES ENTRE TAILLE ET FONCTION

Des chercheurs ont essayé de définir la forme précise de la liaison entre l'effectif de la population d'une unité de peuplement et la gamme de ses fonctions. La figure 5.1 présente deux ensembles de résultats obtenus dans des régions du monde occidental et du monde non occidental. Tout d'abord, ceux de Stafford (1963), qui, en étudiant les fonctions d'un petit échantillon de localités du Sud de l'Illinois, a découvert une corrélation positive ($r = 0,89$) entre la population et la gamme des fonctions (fig. 5.1 A). Des résultats assez semblables, avec des liaisons positives fortes, ont été trouvés à propos d'autres régions du monde occidental : King (1962) a obtenu un coefficient de 0,82 pour le district de Canterbury (Nouvelle-Zélande); Berry et Garrison

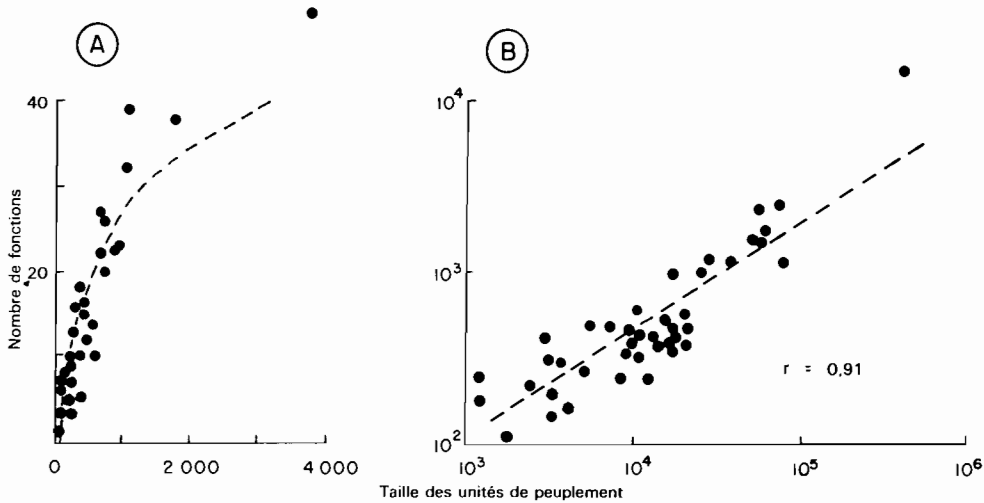


Fig. 5.1 — Liaison entre la gamme des fonctions et la taille des unités de peuplement, dans le Sud de l'Illinois (États-Unis) (A) et dans le Sud de Ceylan (B). L'échelle de l'axe des ordonnées est arithmétique sur le premier graphique, logarithmique sur le second.

Sources : STAFFORD, 1963, p. 170; GUNAWARDENA, 1964.

(1958-B), une valeur un peu plus faible (0,75) pour le comté de Snohomish (État de Washington, États-Unis).

Dans le monde non occidental, Gunawardena (1964) a trouvé, pour la partie sud de Ceylan, une liaison curviligne et positive semblable. La figure 5.1 B représente les résultats obtenus en rapportant le nombre des établissements de services à la taille des unités de peuplement ($r = 0,91$). Des coefficients semblables ont été obtenus en rapportant à la taille des unités de peuplement le nombre des magasins (0,89) et celui des établissements de détail (0,87).

Ces deux ensembles de résultats ont été acquis à propos de régions à dominante rurale, mais, selon Ullman et Dacey (1962), on peut raisonnablement les étendre aux localités plus grandes et aux villes. Les fortes corrélations positives suggèrent : 1° que les grands centres possèdent une gamme de services beaucoup plus importante que les petits centres; 2° que la liaison entre la taille et la gamme des fonctions est curviligne : à mesure que la population de l'unité de peuplement croît, le nombre des fonctions nouvelles suscitées par un effectif additionnel donné diminue.

LES LIAISONS DISCONTINUES : LE PROBLÈME DES SEUILS

Théoriquement (cf. p. 137), la liaison entre taille et fonction devrait présenter des « paliers » plutôt qu'être continue. Les données disponibles ne permettent pas de conclure, mais un certain nombre d'études sur les seuils et les discontinuités jettent quelque lumière sur cette hypothèse. Selon Haggett et Gunawardena (1964) on peut considérer comme seuil d'une fonction quelconque le point central de sa « zone d'apparition ». Pour une fonction donnée F_i , il existe un niveau inférieur d'effectif de la population, tel qu'aucune unité de peuplement de cette taille ne possède F_i ; inversement, il existe un niveau supérieur d'effectif de la population, tel que toutes les unités de peuplement de cette taille possèdent F_i . En appliquant une technique

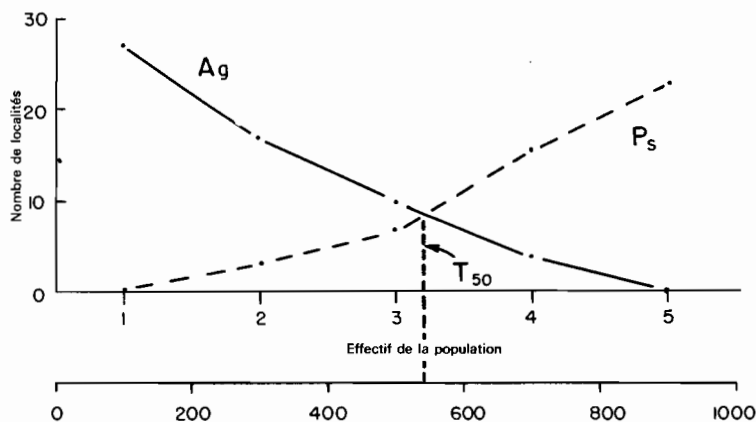


Fig. 5.2 — Détermination graphique des seuils de population (T_{50}) correspondant aux fonctions des localités, selon la méthode de Reed-Muench (1938).
Source : HAGGETT et GUNAWARDENA, 1964, p. 8.

inspirée de la méthode de Reed-Muench employée en biochimie, on peut mesurer le point central de cette zone d'apparition, ce qui donne le seuil médian d'effectif de la population T_{50} . La figure 5.2 montre comment déterminer T_{50} en pratique. Le nombre des localités qui possèdent la fonction F_i et le nombre de celles qui ne la possèdent pas sont portés en ordonnée, et l'effectif de population des localités (celles-ci étant groupées en classes) est porté en abscisse. Le point où les deux courbes se coupent donne la valeur de T_{50} , qu'on lit sur l'échelle des abscisses. En utilisant cette technique, Gunawardena (1964) a déterminé les seuils correspondant à un certain nombre de fonctions possédées par les localités de la partie sud de Ceylan. Le tableau 5.1 présente, pour quelques fonctions prises comme exemples, l'étendue des valeurs de T_{50} . Les fonctions supérieures (par exemple les tribunaux) ont des seuils médians presque vingt fois plus élevés que certaines fonctions d'ordre inférieur (par exemple les écoles primaires); d'autre part, les deux principales zones climatiques (zone humide et zone sèche) présentent des contrastes vigoureux.

TABLEAU 5.1

SEUILS MÉDIANS CORRESPONDANT A QUELQUES FONCTIONS¹

Services	Zone humide	Zone sèche	Rapport
Écoles primaires	515	260	0,50
Bureaux de poste	1 590	565	0,36
Marchés et foires	2 870	1 300	0,45
Écoles secondaires	3 400	1 190	0,35
Hôpitaux	5 250	1 260	0,24
Tribunaux	9 200	2 370	0,26

1. Sud de Ceylan.

Source : K. A. GUNAWARDENA, *Service Centres in Southern Ceylon* (Thèse de l'université de Cambridge), 1964, p. 180.

Les résultats obtenus par Gunawardena sont importants, car ils confirment, à propos d'une région du monde non occidental, la hiérarchie des seuils dont un ouvrage plus ancien de Berry et Garrison (1958-A, B) avait établi l'existence aux États-Unis. D'ailleurs, Bunge (1962, p. 146) avait critiqué ces observations sur les seuils aux États-Unis pour les raisons suivantes : 1^o il s'agit de seuils définis pour la population d'une localité, non pour la population de sa zone d'attraction; 2^o l'existence des usagers des grandes routes est ignorée, alors qu'ils contribuent pour une grande part à la formation des véritables populations seuils dans les localités des États-Unis. A propos du Sud de Ceylan, Gunawardena a pu montrer que la population de la ville était en corrélation significative avec la population totale de sa zone d'attraction, pour toutes les fonctions étudiées. Dans le Sud de Ceylan, la mobilité est si réduite, du moins comparativement aux États-Unis, que la circulation de transit ne contribue que faiblement à la formation de la population seuil.

La connaissance des discontinuités existant dans le continuum des unités de peuplement a fait de grands progrès grâce à une série d'enquêtes sur le terrain soigneusement dirigées par Berry (1967). Pour l'une des cinq régions choisies, le Sud-Ouest de l'Iowa (région-laboratoire classique où Lösch avait déjà travaillé), des résultats préliminaires ont été publiés par Berry, Barnum et Tennant (1962); on peut y reconnaître effectivement des hiérarchies à échelons discrets dans une région au sujet de laquelle Lösch lui-même écrivait : « Je ne vois pas comment on pourrait éliminer les effets de la liaison entre taille et nombre pour découvrir d'éventuels groupements » (Lösch, 1954, p. 433). Berry a découvert des discontinuités, dans la suite des unités de peuplement de la région étudiée, en faisant une enquête directe par questionnaire et en soumettant les résultats à l'analyse factorielle (cf. pp. 251-253). Les unités de peuplement ont été groupées par l'analyse factorielle en trois classes distinctes : *villes*, possédant plus de 55 fonctions; *bourgs*, possédant de 28 à 50 fonctions; *villages*, possédant de 10 à 25 fonctions. Les hameaux n'ont pas été inclus dans l'analyse factorielle, mais la figure 5.3 A montre qu'ils occupent un échelon distinct dans la

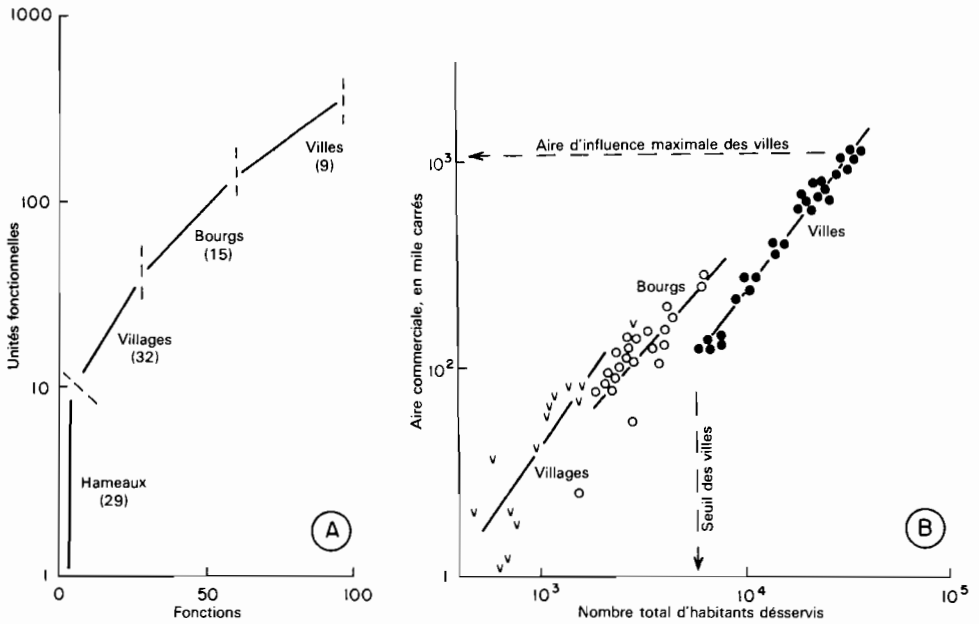


Fig. 5.3 — Hiérarchie des unités de peuplement, dans le Sud-Ouest de l'Iowa, aux États-Unis, déterminée pour quatre classes de places centrales.

Source : BERRY, BARNUM et TENNANT, 1962, pp. 79, 80.

hiérarchie fonctionnelle. Sur ce graphique, le nombre des établissements correspondant à une fonction (boutiques, garages, etc.) est porté en ordonnée, et le nombre des fonctions en abscisse. Pour les trois classes supérieures d'unités de peuplement, la

figure 5.3 B fait apparaître les positions distinctes qu'occupent les villages, les bourgs et les villes quant à la liaison entre l'aire commerciale (en miles carrés) et la population desservie (l'échelle des deux axes de coordonnées est logarithmique). L'avantage de ce graphique est de faciliter la détermination du *seuil* et de l'*aire d'influence maximale* de chaque classe de la hiérarchie des unités de peuplement : sur la figure 5.3 B, des flèches indiquent ces valeurs, pour les villes.

Du point de vue théorique, les études du type de celle de Berry sur le Sud-Ouest de l'Iowa, ou de celle de Mayfield (1962) sur le Nord de l'Inde, permettent d'interpréter les petites ruptures existant dans la distribution des tailles des unités de peuplement en termes de hiérarchie fonctionnelle. La question reste posée, de savoir si de telles études, de par leur rigidité mathématique, perdent en partie le caractère régional d'études plus traditionnelles (Smiales, 1946). Il est certain qu'elles se fondent sur la masse impressionnante d'écrits consacrés antérieurement à l'étude de la hiérarchie des unités de peuplement; des classiques tels que l'ouvrage de Bracey sur un comté anglais, *Social Provision in Rural Wiltshire* (1952), donnent un aperçu de l'efficacité et de la souplesse d'une approche moins théorique.

Treillis et fonctions k

On a montré (chap. 4, section 1) que la disposition des unités de peuplement en treillis triangulaire — chaque centre ayant autour de lui un champ hexagonal particulier — constitue la division optimale de l'espace, dans un milieu non différencié. Pour introduire la notion de hiérarchie des unités de peuplement, selon laquelle certaines unités remplissent des fonctions spécialisées au bénéfice des autres, il faut transformer ce modèle simple.

La disposition des champs hexagonaux peut être modifiée de diverses façons (fig. 5.4) par simple changement de l'orientation du réseau hexagonal et de la taille de chaque case hexagonale. Sur les neuf diagrammes de la figure, les places centrales qui remplissent des fonctions spécialisées sont représentées par des cercles doubles; les centres subordonnés sont représentés par des cercles creux s'ils sont situés à l'intérieur du champ d'une place centrale et par des cercles pleins s'ils sont situés sur le périmètre d'un tel champ.

Dans ce système, le nombre des unités de peuplement desservies par chaque place centrale est appelé, à la suite de Christaller (1933), indice k . Sur le premier diagramme de la figure 5.4, la valeur de k , pour chaque place centrale, est égale à 3, c'est-à-dire à la place centrale elle-même, plus 1/3 des six unités d'habitat situées à la limite de son champ; on prend la proportion 1/3 parce que chaque centre subordonné est partagé entre trois places centrales, comme l'indiquent les flèches. Sur le diagramme suivant, le réseau hexagonal a subi une rotation de 90 degrés, de sorte que les unités de peuplement situées sur la limite sont partagées entre deux places centrales seulement, et que la valeur de k s'élève à 4. En poursuivant ce processus d'orientation et d'agrandissement du réseau, on constate que les neuf champs les plus petits possible donnent une série discontinue de valeurs de k : 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21.

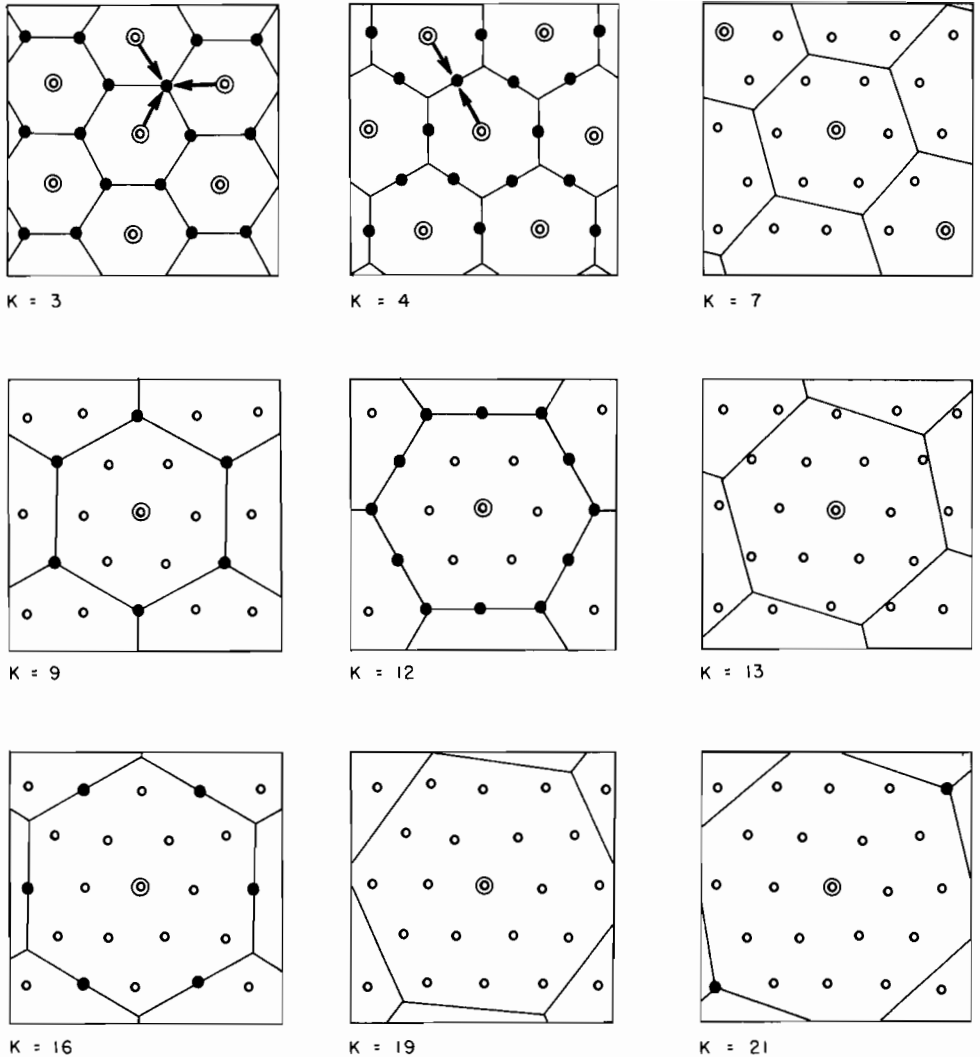


Fig. 5.4 — Les neuf plus petits territoires hexagonaux d'un paysage de Lösch.
 Source : LÖSCH, 1954, p. 118.

Il existe donc un certain nombre de solutions au problème des hiérarchies hexagonales, chacune avec une valeur de l'indice k ; mais Christaller et Lösch ont montré que toutes les solutions possibles ne sont pas également probables. Si l'on porte en abscisse sur un graphique (fig. 5.5) le nombre des unités desservies, et en ordonnée la distance radiale maximale (c'est-à-dire la distance entre la place centrale et le centre subordonné le plus éloigné), des irrégularités se révèlent. Si on juge d'après ce graphique l'efficacité de chaque solution (c'est-à-dire le rapport entre le nombre d'unités

desservies et la distance parcourue), il est clair que la cinquième solution ($k = 12$) est extrêmement inefficace, alors que la troisième solution ($k = 7$), la sixième ($k = 13$) et la huitième ($k = 19$) sont très efficaces. Ces trois cas ont aussi l'avantage de ne comporter que des centres subordonnés indivis (aucun centre satellite n'est partagé entre deux places centrales ou plus), ce qui, d'après Lösch (1954, p. 120, n. 16), constitue une solution stable, tant politiquement qu'économiquement, donc une solution qui a des chances de se réaliser en pratique.

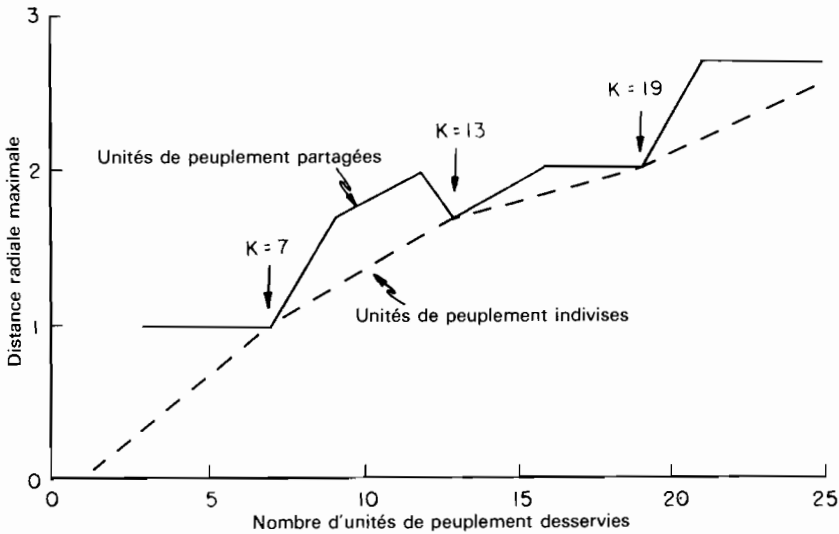


Fig. 5.5 — Efficacité relative des territoires hexagonaux cartographiés sur la figure 5.4.

Par des raisonnements de ce genre, on peut voir qu'un treillis régulier d'unités de peuplement conduit : 1° à une série discontinue de nombres exprimant des solutions du problème des places centrales; 2° à des irrégularités dans l'efficacité relative de ces solutions. C'est sur ces nombres fondamentaux du système hexagonal, les valeurs de l'indice k , que Christaller et Lösch ont édifié leurs hiérarchies de places centrales.

Les hiérarchies de places centrales

Cette section est consacrée aux modèles de places centrales de Christaller (1933) et de Lösch (1940, 1954), mais l'exposé est limité à la géométrie des localisations, et à ce qu'elle implique pour la structure de la répartition de l'habitat. Des analyses critiques des postulats économiques sous-jacents à ces modèles ont été faites, en ce qui concerne Christaller, par Baskin (1957), par Berry et Pred (1961, pp. 3-18), et, en ce qui concerne Lösch, par Valvanis (1955) et Beckmann (1955).

LA HIÉRARCHIE À INDICE FIXE DE CHRISTALLER

Christaller (1933) a élaboré une série de hiérarchies de places centrales fondées sur le postulat que, dans une région quelconque, la valeur de k , une fois adoptée, est fixée : elle s'applique indistinctement aux relations entre fermes et villages, villages et bourgs, bourgs et villes, en passant par tous les niveaux de la hiérarchie des places centrales. La figure 5.6 A représente une hiérarchie très simple, à trois niveaux, fondée sur le postulat que $k = 4$: il existe une strate inférieure de villages subordonnés, sur laquelle est édifée une strate de bourgs, sur laquelle est édifée la strate supérieure des villes centres. La hiérarchie complète correspondant à $k = 4$ se conforme

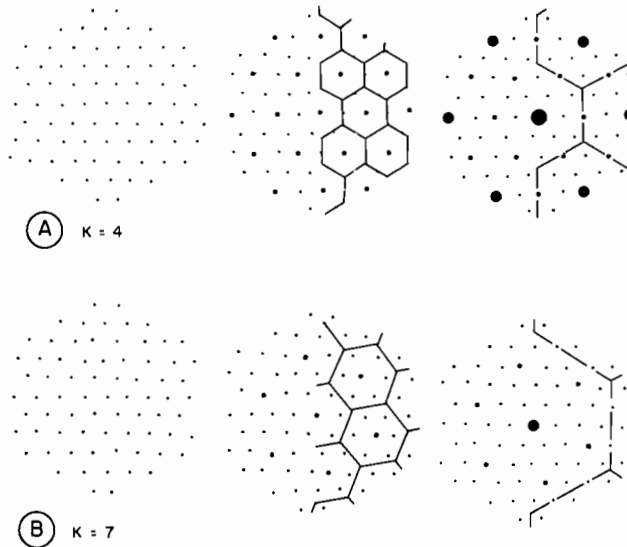


Fig. 5.6 — Hiérarchies à trois niveaux, correspondant à deux systèmes réguliers à indice fixe.

à une progression géométrique régulière (1, 4, 16, 64, ...); la hiérarchie correspondant à la solution suivante, $k = 7$, se conforme à une progression du même type (1, 7, 49, 343, ...) (fig. 5.6 B). Le terme général, qui permet d'obtenir le nombre des localités situées à chaque niveau, dans une hiérarchie où la valeur de k est fixée, est : $N_t = K^t$. Dans cette formule, N est le nombre de centres subordonnés et t le niveau de la hiérarchie. Selon cette formule, dans une hiérarchie où $k = 7$, une place centrale devrait théoriquement dominer $2 \bullet 1$ (7^4) centres subordonnés situés au quatrième niveau de cette hiérarchie.

Christaller a vu les avantages que présente l'indivision des centres subordonnés, mais, selon lui, elle serait réalisée par groupement des centres en « nids » plutôt que par adoption des limites hexagonales optimales représentées sur la figure 5.4. Il envisage trois cas :

1° Lorsque l'approvisionnement des centres subordonnés à partir des places

centrales doit se faire sur un trajet aussi court que possible (*primauté du fait commercial*), une hiérarchie où $k = 3$ est indiquée, puisqu'elle maximise le nombre des places centrales. Pour surmonter la difficulté que posent les centres subordonnés partagés, Christaller avance l'idée que des liaisons seront établies avec seulement deux des six centres subordonnés les plus proches (fig. 5.7 A), et que ceci donnera naissance à une hiérarchie en nids symétrique.

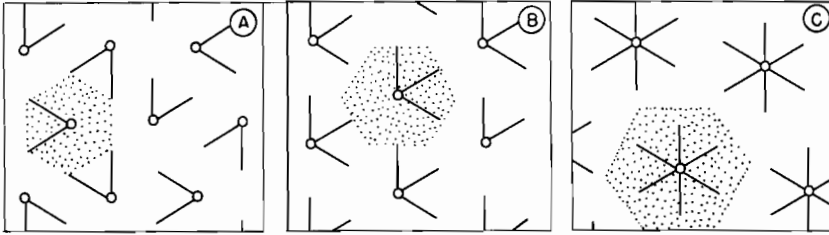


Fig. 5.7 — Les trois schémas de formation de « nids » dans le paysage de Christaller.

2° Lorsque le coût de construction des réseaux de transport l'emporte (*primauté de la circulation*), une hiérarchie où $k = 4$ est indiquée, puisque « autant de localités importantes que possible sont situées sur une seule voie de circulation reliant des villes plus grandes, la voie étant construite au moindre coût possible » (Berry et Pred, 1961, p. 16). Des liaisons seront établies avec seulement trois des six plus proches centres subordonnés (fig. 5.7 B), ce qui donne naissance à un schéma différent de groupement en nids.

3° Lorsque la netteté des divisions administratives importe (*primauté de la fonction administrative*), une hiérarchie où $k = 7$ est indiquée : des liaisons s'établissent entre une place centrale et les six centres subordonnés les plus proches (fig. 5.7 C).

Les résultats d'une étude sur l'Iowa (Berry, Barnum et Tennant, 1962, pp. 105-106) donnent à penser que, si le groupement en nids existe dans la réalité, il peut être plus irrégulier que le modèle de Christaller ne l'indique.

LES HIÉRARCHIES À INDICE VARIABLE DE LÖSCH

Lösch (1954) a utilisé une unité hexagonale semblable pour construire ses paysages théoriques, mais il a amélioré et élargi la formule de Christaller. La différence majeure entre les deux démarches est la suivante : Lösch considère le postulat selon lequel la valeur de k est fixée comme un cas limite particulier ; il emploie toutes les solutions hexagonales, non seulement les neuf représentées sur la figure 5.4, mais aussi d'autres, obtenues en poussant plus loin le même raisonnement. En superposant les réseaux, centrés sur un seul point, d'hexagones de toutes tailles, et en les faisant tourner autour de ce point, il obtient six secteurs possédant beaucoup de centres de production, et six autres en possédant peu (fig. 5.8). Suivant ce dispositif, « tous les réseaux ont un centre en commun... le nombre maximal de localisations coïncide... la somme des

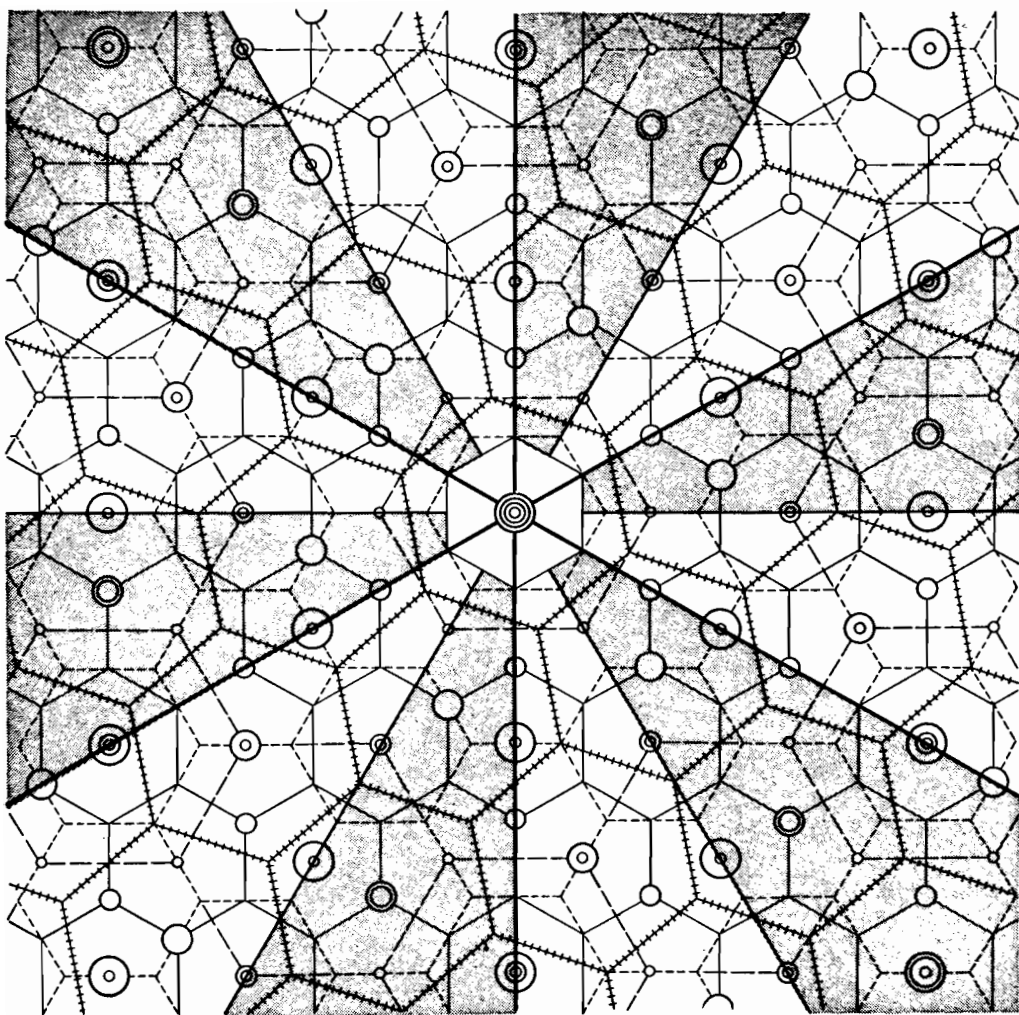


Fig. 5.8 — Paysage de Lösch simplifié, présentant des systèmes de réseaux hexagonaux.
Source : ISARD, 1956, p. 270.

distances minimales entre les localisations industrielles est minimale, et par conséquent non seulement les expéditions mais aussi les lignes de transport sont réduites au minimum » (Lösch, 1954, p. 124). Comme la figure 5.9 le montre, la rotation engendre de fortes variations dans le schéma de répartition, à la fois d'un secteur à l'autre et suivant la distance par rapport à la métropole. Ici, le centre métropolitain est le centre de 150 champs distincts. Les points sur lesquels sont centrés plus de quatre ou plus de huit champs sont représentés par deux modèles plus gros de cercles noirs sur la figure 5.9 C.

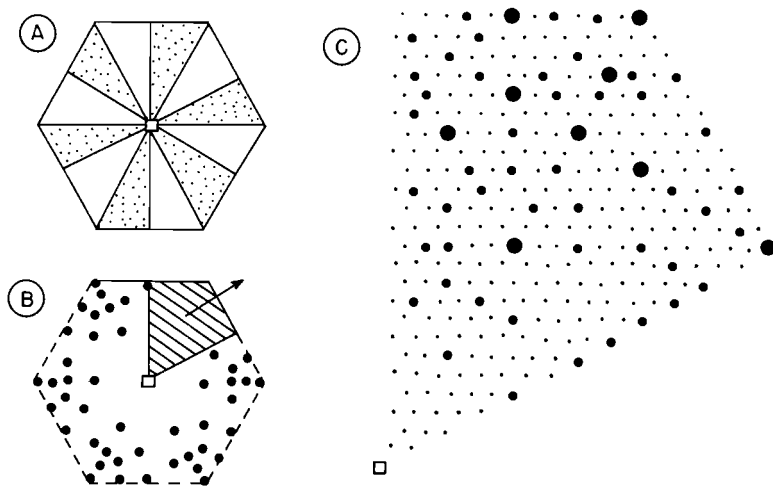


Fig. 5.9 — Paysage de Lösch présentant des secteurs alternativement riches et pauvres en villes (A); la répartition des grandes villes (B); la répartition de tous les centres à l'intérieur d'un secteur (C).

Source : LÖSCH, 1954, p. 127.

Bien que Lösch ait utilisé la même unité de base, hexagonale, et le même indice k que Christaller, la hiérarchie qu'il a élaborée est nettement différente. La hiérarchie de Christaller consiste en un certain nombre de paliers ou niveaux bien définis, tels que : 1^o toutes les places centrales situées à un niveau particulier ont la même taille et les mêmes fonctions; 2^o les places centrales de catégorie supérieure comportent toutes les fonctions possédées par les places centrales plus petites. Au contraire, la hiérarchie de Lösch est beaucoup moins rigide. Elle consiste en une suite presque continue de centres plutôt qu'en des niveaux distincts, de sorte que : 1^o des unités de peuplement de même taille n'ont pas nécessairement les mêmes fonctions (par exemple, un centre qui dessert sept unités de peuplement peut être soit une place centrale d'un réseau tel que $k = 7$, soit seulement le point en lequel coïncident deux réseaux, l'un tel que $k = 3$, l'autre tel que $k = 4$); 2^o les grandes places centrales ne possèdent pas nécessairement toutes les fonctions des places centrales plus petites.

De bien des façons, le système de Lösch — du moins une fois adapté aux concentrations et aux répartitions irrégulières de ressources (*cf.* pp. 109-110) — fournit un schéma qui s'accorde à la réalité mieux que celui de Christaller. Du modèle à indice variable de Lösch résulte une distribution plus continue, présentant des déviations assez faibles par rapport à la distribution logarithmique. Vining (1955) a critiqué avec vigueur l'indice fixe de Christaller, disant qu'il conduit à une distribution « en paliers » des villes selon la taille, plutôt qu'à la distribution continue que l'on observe en réalité (chap. 4, section 2). Par contre, Beckmann (1958) a défendu le modèle de Christaller, le trouvant à la fois plus simple et plus satisfaisant du point de vue théorique; il pense que ce modèle n'est peut-être pas en désaccord avec les distributions

LES HIÉRARCHIES

observées des villes selon leur taille, si on admet l'introduction d'un facteur aléatoire; ce facteur peut suffire à brouiller les paliers rigides de la hiérarchie, transformant celle-ci en une suite continue conforme à la règle de la taille selon le rang.

LES VALEURS DE k : OBSERVATIONS EMPIRIQUES

L'un des sous-produits des recherches sur les seuils, dont on a rendu compte plus haut (pp. 132-135), est l'étude : 1° du concept de *niveaux* de la hiérarchie, 2° des relations entre ces niveaux, représentées par les valeurs de l'indice k . Il est certain que les études dans lesquelles des niveaux ont été reconnus ne manquent pas, et même, depuis que Christaller (1933, 1950) a établi sa hiérarchie à sept niveaux allant du hameau à la ville d'importance mondiale, on a peut-être reconnu autant de niveaux en géographie humaine que de surfaces d'érosion en géographie physique! La difficulté fondamentale de telles études est la définition des « solutions de continuité » soit dans la suite des fonctions soit sur le terrain. En pratique, il faut établir des divisions plus ou moins arbitraires. C'est ainsi que Bracey (1962), étudiant les villages-centres du Somerset (Angleterre), reconnaît des villages de première, de deuxième et de troisième catégorie (fig. 5.10); mais il fonde cette classification sur un continuum (le nombre des

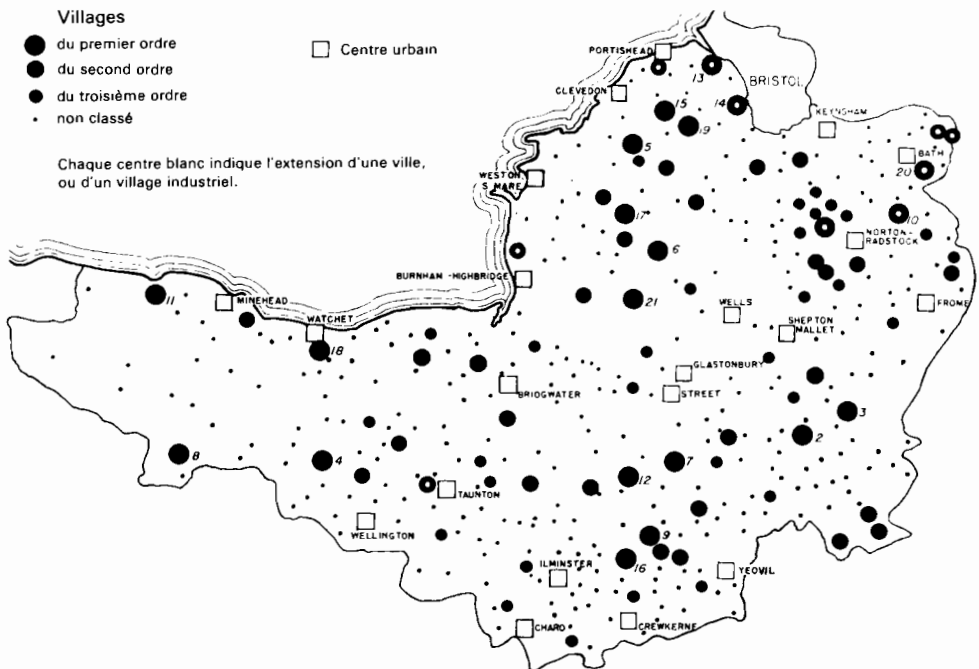


Fig. 5.10 — Hiérarchie des villages - centres dans le Somerset ($G = 5,1$), dans le Sud-Ouest de l'Angleterre.

Source : BRACEY, 1962, p. 176.

magasins), en établissant des coupures à cinq, dix et vingt boutiques. Des techniques perfectionnées permettent de définir des coupures significatives (par exemple l'analyse factorielle, utilisée par Berry, Barnum et Tennant (1962)); elles aident à venir à bout de cette difficulté, en fournissant des tests objectifs.

En utilisant des méthodes de classification homogènes, on peut suivre les variations, d'une région à l'autre, des relations entre les différents niveaux. Ainsi Gunawardena (1964), qui a identifié quatre niveaux fonctionnels dans la hiérarchie des unités d'habitat du Sud de Ceylan, a pu montrer que les valeurs de k s'étendaient, selon les provinces, de 1,6 à 11. Cette variation est peut-être plus importante et plus caractéristique que cet autre résultat : la classe modale était $k = 3$, ce qui concorde exactement avec ce que Christaller appelle la « primauté du fait commercial ».

2. LA PLACE DES CENTRES SPÉCIALISÉS DANS LA HIÉRARCHIE

Le concept de spécialisation

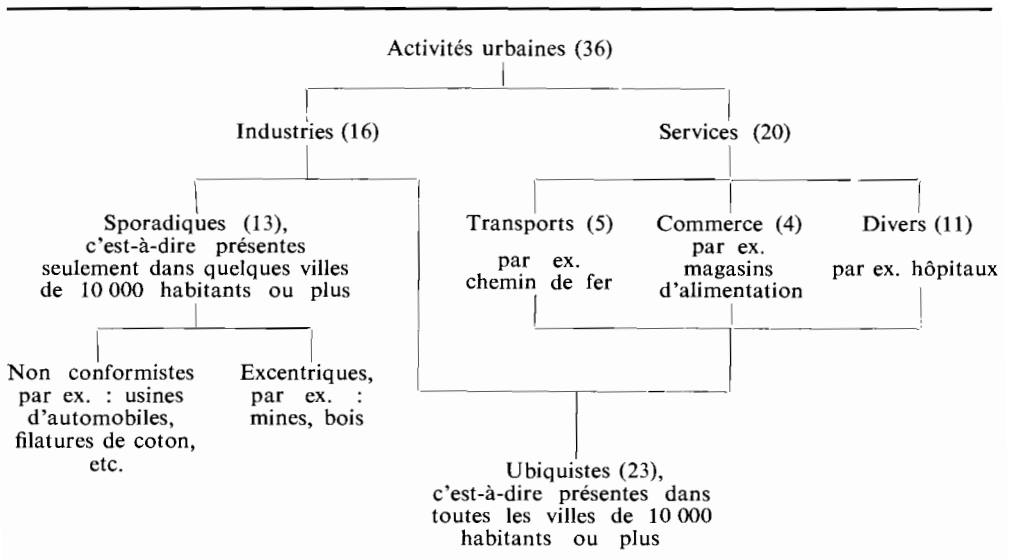
Ainsi bien des données confirment l'existence de dispositifs réguliers d'unités de peuplement avec des hiérarchies bien fixées. Cependant, de nombreux cas semblent contredire ces règles. Les groupements de villes minières dans le Nord de l'Angleterre, ou de petites villes cotonnières sur le Piémont appalachien, paraissent relever d'un ordre moins régulier, qui serait greffé sur le système « normal » des places centrales. Thomas Hardy présentait cette différence, quand il écrivait à propos de Casterbridge : « le pôle, le foyer, le centre nerveux de la vie du pays d'alentour; différent des nombreuses petites villes industrielles qui sont comme des corps étrangers déposés, tels des blocs erratiques sur la plaine, dans un monde de verdure avec lequel ils n'ont rien en commun » (Hardy, 1886, p. 73).

Les statistiques permettent aujourd'hui d'introduire quelque précision dans cette distinction. Alexandersson (1956) a étudié un groupe de villes des États-Unis, et mesuré leur structure de l'emploi selon les catégories du recensement de 1950. Pour 864 villes de 10 000 habitants ou plus, il a constaté que certaines fonctions existaient dans toutes les villes (types *ubiquistes*), tandis que d'autres se rencontraient dans très peu de villes (types *sporadiques*). Le tableau 5.2 présente un essai de classement des trente-six groupes d'activités : trois groupes d'activités industrielles (la construction, l'imprimerie et l'édition, et les industries alimentaires) sont ubiquistes, mais les groupes d'activités industrielles sont, en grande majorité, plus ou moins sporadiques, c'est-à-dire qu'ils se répartissent, irrégulièrement, dans tout le système urbain.

Un cas extrême d'industrie sporadique est l'industrie automobile, qui est absente de plus de la moitié des villes, mais qui domine dans un très petit nombre, par exemple à Flint (Michigan), domaine de la Buick Motor Corporation. Cette distribution caractéristique est représentée par la courbe A sur la figure 5.11, où le nombre de villes (en abscisse) est rapporté à la proportion de la main-d'œuvre employée (en

TABLEAU 5.2

CLASSIFICATION DES ACTIVITÉS URBAINES¹



1. États-Unis, 1950.

Source : G. ALEXANDERSSON, *The Industrial Structure of American Cities*, 1956.

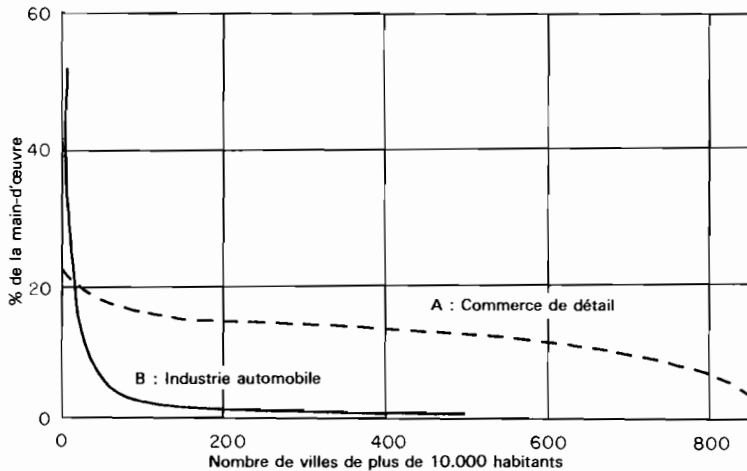


Fig. 5.11 — Courbes des effectifs cumulés des travailleurs de deux activités, rapportés à la structure urbaine des États-Unis en 1950.

Source : ALEXANDERSSON, 1956, pp. 49, 106.

ordonnée). C'est une courbe tout à fait différente (B, sur la figure 5.11) que présente une activité typiquement ubiquiste, le commerce de détail, qui se rencontre dans toutes les villes : il n'existe aucune ville où soit employé dans ce groupe d'activité soit moins de 5 % soit plus de 21 % de la main-d'œuvre.

Bien que les résultats obtenus par Alexandersson ne s'appliquent qu'à un pays et à un instant donnés, il est significatif que l'activité sporadique (l'industrie) soit un élément régressif de la structure urbaine, même dans un pays très industrialisé. Dans deux sur trois des villes de cet échantillon, l'industrie employait moins de la moitié de la main-d'œuvre : dans aucune ville, si spécialisée soit-elle, l'industrie n'utilisait plus de 80 % de la population active, et cette proportion apparaît comme une limite extrême.

Les observations de concordance

D'après les travaux d'Alexandersson, on s'attendrait à ce que l'industrie, activité sporadique, fasse apparaître des divergences très marquées par rapport aux constantes observables dans la distribution des villes. Cependant, certaines observations indiquent que l'industrie coïncide assez étroitement avec la distribution générale de la population urbaine.

LA CONCORDANCE DANS L'ESPACE

Bogue (1949) a choisi d'étudier l'industrie, qui est l'une des principales « activités de base » de la population urbaine localisée autour de soixante-sept villes des États-Unis (*cf.* pp. 107-109). Il mesure les variations de l'importance de l'industrie en fonction de la distance par rapport aux villes à l'aide d'indices tirés du *Census of Manufactures* (1940). La distribution absolue est représentée sur la figure 5.12 A par un indice *a* (valeur ajoutée) et la distribution relative sur la figure 5.12 B par trois indices *c*, *d* et *e* (respectivement : valeur ajoutée par personne, nombre d'employés pour 1 000 habitants, nombre d'établissements pour 1 000 habitants). Sur les deux graphiques, les valeurs des indices sont portées en ordonnée, les distances en abscisse; l'échelle des deux axes est logarithmique.

La liaison entre la diminution de l'importance de l'industrie et la distance par rapport à la ville apparaît nettement : la courbe *a* présente une baisse rapide, beaucoup plus accentuée que celle de la courbe *b* qui représente la densité de population (fig. 5.12 A); la décroissance est rapide jusqu'à environ trente miles de la métropole, ainsi qu'au-delà de soixante-cinq miles environ. Entre ces deux points, il y a un palier, correspondant à une partie de la zone d'influence de la métropole où tendent à se concentrer de grandes villes très spécialisées.

Les courbes des indices *per capita* montrent que l'industrie, non seulement décroît en même temps que la densité de population, mais se « dilue » dans la population dans les zones éloignées. La comparaison entre la courbe du nombre des établissements et celle du nombre des employés montre que la taille moyenne des établissements diminue quand on s'éloigne de la métropole (*cf.* pp. 156-159).

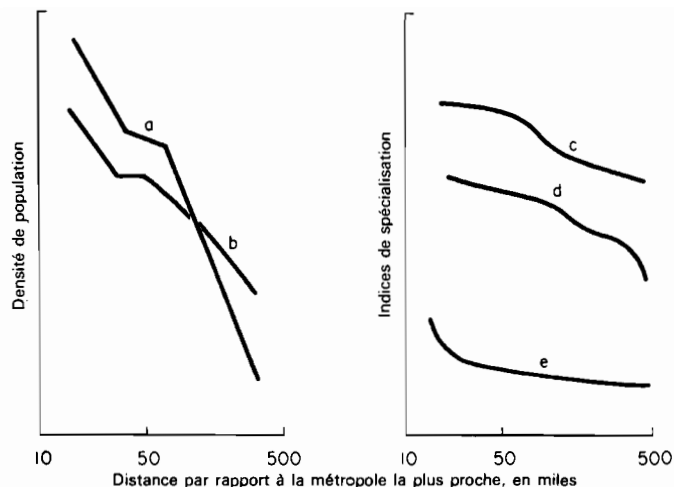


Fig. 5.12 — Spécialisation dans l'industrie, rapportée à la distance par rapport à la métropole. États-Unis, 1940.

Source : BOGUE, 1949, pp. 32, 184.

Bien que les villes-centres elles-mêmes ne soient pas très spécialisées, la taille d'une ville-centre peut avoir beaucoup d'effet sur le degré de spécialisation dans sa zone d'influence : les très grandes villes (plus de 500 000 habitants, en 1940) sont relativement plus spécialisées que les villes plus petites, et dans leur zone d'influence le niveau d'industrialisation est partout plus élevé.

Si on se réfère à la classification de Bogue (*cf.* pp. 107-109) en trois types de secteurs (secteurs routiers, sous-dominants et locaux), on constate que les indices d'industrialisation sont nettement plus bas dans les secteurs locaux que dans les deux autres types (tableau 5.3). Cependant, un décalage significatif apparaît sur tous les indices : leurs valeurs sont légèrement plus fortes pour les secteurs sous-dominants

TABLEAU 5.3

SPÉCIALISATION DANS L'INDUSTRIE, SELON LES TYPES DE SECTEURS ¹

Indices d'intensité de l'industrialisation	Secteur routier	Secteur sous-dominant	Secteur local
Valeur ajoutée, par personne, en dollars	164	171	107
Nombre d'employés, pour 1 000 habitants	55	65	41
Nombre d'établissements, pour 1 000 habitants	1,08	1,12	0,96

1. États-Unis, 1940.

Source : D. J. BOGUE, *The Structure of the Metropolitan Community*, 1949, p. 186.

que pour les secteurs routiers. A la différence des trois autres « activités de base », l'industrie se concentre fortement dans les secteurs sous-dominants. A la limite de la portée de la métropole, à environ 250 miles de la ville la plus proche, le niveau d'industrialisation se révèle plus élevé dans le secteur local que dans le secteur routier. Le renversement de la tendance générale à cette distance extrême semble indiquer que la métropole est assez éloignée et inaccessible pour que des « poches » industrielles locales puissent exister.

LA CONCORDANCE DANS LE TEMPS

L'instabilité et l'excentricité retiennent plus l'attention que la stabilité et l'uniformité. Ainsi, l'essor rapide de centres très spécialisés (« boom » des villes minières) est à l'origine de passionnantes études de géographie historique, comme par exemple l'étude de MacCaskill (1962, pp. 143-169) sur les centres nés de la ruée vers l'or dans l'île sud de la Nouvelle-Zélande, ou celle de Goldthwait (1927) sur une ville en déclin de Nouvelle-Angleterre.

Tous les centres spécialisés ne présentent pas un tel cycle d'activité. Plus fréquemment, les unités de peuplement « mûrissent » à mesure que la source initiale d'emplois détermine la création d'autres emplois moins liés à une localisation spécifique. Dans l'une des premières études sur les « multiplicateurs d'emplois », Barford (1938) a étudié les effets de l'installation d'une fabrique d'allumettes sur une petite communauté danoise, et retracé la réaction en chaîne déclenchée dans le domaine de l'emploi. Dans des études analogues (*cf.* Isard et *al.*, 1960, pp. 189-205), on a essayé de mesurer l'effet de l'introduction d'un type d'emploi sur les autres secteurs de l'économie locale. Ainsi, Isard et Kuenne (1953) ont évalué les conséquences possibles, pour la région de New York-Philadelphie, de l'existence d'une aciérie intégrée à Trenton (New Jersey). En utilisant la méthode d'*input-output*, ils ont pu suivre la chaîne des ramifications (aciérie, industries utilisant l'acier, activités de service, population) et mesurer leurs effets sur le nombre d'emplois. Ils ont, par exemple, estimé l'expansion dans l'industrie du fer blanc à un dixième — soit 923 travailleurs de plus. Cette expansion, à son tour, créait des demandes de logements, de magasins de détail, etc. Les résultats d'ensemble obtenus par Isard et Kuenne sont présentés sur le tableau 5.4 : au bout de six cycles d'expansion, l'aciérie, employant directement 12 000 travailleurs, devait, d'après les calculs, provoquer la création d'environ 159 000 emplois nouveaux.

Les estimations d'effets multiplicateurs de ce genre sont vraisemblablement faussées par les réactions en chaîne exercées sur d'autres régions (dans l'exemple ci-dessus, sur des régions situées à l'extérieur de l'aire de New York-Philadelphie); le problème d'une telle « rétroaction interrégionale » apporte des difficultés de calcul supplémentaires. Du strict point de vue de la localisation, on voudrait en savoir davantage sur la grandeur des multiplicateurs régionaux propres à des types particuliers d'activités, et sur les niveaux auxquels une ville ou une région franchit le seuil critique du « décollage » (*take-off*). Les études économiques sur les problèmes du décollage ont été faites à l'échelle nationale (Rostow, 1960; 1963); elles pourraient aussi bien s'appliquer à des aires géographiques plus restreintes.

TABLEAU 5.4

**RÉPERCUSSIONS DIRECTES ET INDIRECTES
DE LA CRÉATION D'UNE ACIÉRIE ¹**

	Nouveaux emplois	Effet multiplicateur
Secteurs		
Primaire (sidérurgie)	11 666	1,0
Secondaire (reste de la métallurgie du fer)	77 014	6,6
Tertiaire (autres activités)	70 089	6,0
Total	158 769	13,6

1. Région industrielle de New York-Philadelphie (États-Unis).

Source : W. ISARD et R. E. KUENNE, in *Review of Economics and Statistics*, 1953, p. 297.

Les problèmes de discordance

La discordance, c'est-à-dire l'existence de centres qui n'entrent pas dans la hiérarchie, soulève des problèmes théoriques et des problèmes pratiques.

LA SPÉCIALISATION DES CENTRES : PROBLÈMES THÉORIQUES

La concordance d'activités spécialisées avec la hiérarchie des unités de peuplement ayant été mise en évidence (*cf.* section 2), on peut raisonnablement s'interroger sur la signification des centres extérieurs à cette hiérarchie. Si le grand centre urbain peut comporter toutes les fonctions centrales dont a besoin le territoire environnant, il n'y a apparemment pas de place, dans le cadre de la théorie des places centrales, pour les centres industriels spécialisés. Curry (1962) a cependant montré que le facteur temps, étudié dans la perspective de la théorie des files d'attente (*queuing theory*), peut jouer un certain rôle en maintenant la plus grande place centrale un peu au-dessous de son maximum théorique; autrement dit, le plus grand centre peut, en fait, ne pas posséder toute la gamme des fonctions dont le territoire dépendant a besoin.

En employant ici le modèle de Curry, nous lui donnons une extension qui dépasse de beaucoup ce à quoi il s'appliquait à l'origine (les centres de services à l'intérieur des villes), et une application plus générale. La théorie est fondée sur quatre postulats :

1^o Il existe un *ordre des biens*, qui dépend de l'effectif de population indispensable pour qu'existe un marché. Les biens de premier ordre nécessitent, comme marché, toute la population du territoire considéré; les biens de second ordre réclament la moitié de cette population; les biens de troisième ordre, le tiers, et ainsi de suite.

2^o A cet ordre des biens correspond un *ordre des centres*. Cet ordre, qui va des grands centres de premier ordre aux petits centres de dixième ordre, forme l'axe des abscisses des graphiques de la figure 5.13.

3° Il existe une *gamme d'importance des stocks*, correspondant à l'ordre des centres et telle que chaque centre d'un certain échelon a besoin d'approvisionnements inférieurs d'un tiers à ceux d'un centre d'ordre immédiatement supérieur. Curry justifie ce postulat par des raisonnements mathématiques faits sur des sections choisies au hasard dans un continuum : c'est, reconnaît-il, une approximation très grossière de la réalité. La figure 5.13 A montre la forme de la courbe représentant la gamme d'importance des stocks. Le nombre relatif de déplacements faits pour des achats pendant un intervalle de temps donné, ou *fréquence des déplacements*, est égal au carré de l'ordre des centres. Ceci concorde *grosso modo* avec ce qu'on connaît des comportements en matière de déplacements (par exemple : on se déplace une fois par semaine pour aller à l'épicerie, une fois par mois pour aller au théâtre, de temps en temps pour acheter des meubles); mais la forme exacte de la courbe (fig. 5.13 A) est probablement plus complexe.

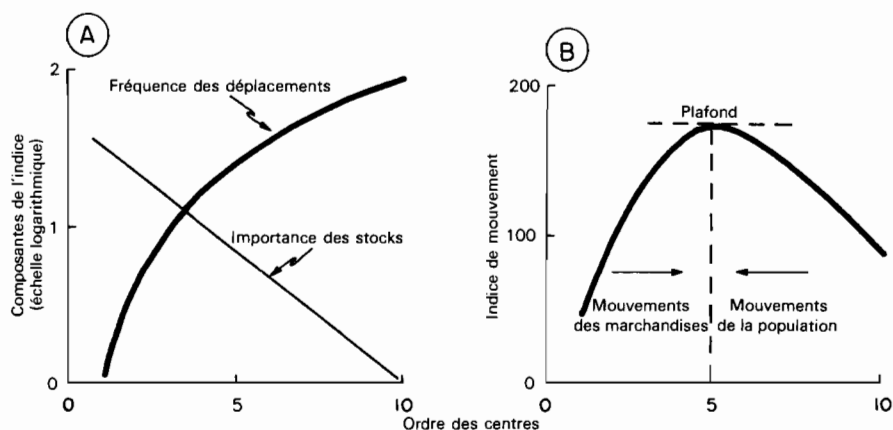


Fig. 5.13 — Modèle théorique d'optimisation des mouvements dans un système de places centrales.

Source : CURRY, 1962, p. 41.

4° En multipliant l'importance des stocks par la fréquence des déplacements, on obtient un *indice de mouvement* (fig. 5.13 B).

L'importance de l'indice de mouvement est indiquée par la forme « bossue » de la courbe de la figure 5.13 B. Le point le plus bas de la courbe se trouve au début, au-dessus du centre de premier ordre; l'indice atteint son maximum au-dessus du centre de cinquième ordre; puis il s'abaisse lentement en direction du centre de dixième ordre. Le maximum de la courbe peut être interprété comme le *plafond* du développement de la hiérarchie des places centrales dans un territoire donné. Au-delà de ce point, cela ne vaut pas la peine de tenir des stocks puisque la demande (mesurée par la fréquence des déplacements) est trop faible, et que les biens spécialisés (c'est-à-dire du premier au quatrième ordre) sont produits dans un petit nombre de centres, et expédiés vers les centres de cinquième ordre à mesure que les demandes occasionnelles

se manifestent. En deçà de ce point, la hiérarchie des places centrales s'étend en une série ininterrompue, le volume de la demande locale suffisant à l'entretenir.

Il est encore trop tôt pour dire dans quelle mesure ce modèle est susceptible d'applications. Certes, plusieurs des postulats sur lesquels il se fonde sont peu solides, mais ils paraissent constituer des approximations raisonnables de faits observés dans les comportements sociaux et économiques. Cette théorie implique qu'un grand centre particulier a peu de chances d'émerger comme place centrale de premier ordre, mais que ses fonctions peuvent être remplies par des centres d'un ordre inférieur approvisionnés à partir de quelques centres spécialisés (qui n'appartiennent pas à la hiérarchie). Ces implications sont importantes; elles donnent à penser que, même dans un paysage théorique doté d'une hiérarchie régulière de places centrales, des centres spécialisés ont des chances d'apparaître, en dehors du réseau régulier. On ne sait pas si ces fonctions spécialisées sont localisées dans de petits centres spécialisés, ou partagées entre les cinq centres de cinquième ordre. Burton (1963-B, p. 285) a attiré l'attention sur la *ville dispersée*; il désigne ainsi un groupe de villes qui, « bien que séparées par des étendues de terres vouées à l'agriculture, fonctionnent ensemble, du point de vue économique, comme une unité urbaine unique ». Il a relevé l'existence de telles villes dans le Sud de l'Illinois et sur le cours inférieur du Rio Grande (États-Unis), dans le Sud de l'Ontario (Canada), dans la région de Salzgitter (Allemagne de l'Ouest), et dans la région de Derby-Chesterfield-Nottingham (Centre de l'Angleterre). Ces villes dispersées signifient-elles que la hiérarchie des places centrales, dans ces régions, est tronquée, et que sa partie supérieure est remplacée par un groupe de villes d'ordre inférieur dotées d'activités spécialisées complémentaires? Elles peuvent aussi bien devoir leur existence à des modalités, purement locales, de l'évolution du peuplement.

LA SPÉCIALISATION DES CENTRES : PROBLÈMES DE DÉFINITION

Le raisonnement théorique discuté ci-dessus met en lumière la nécessité d'une définition efficace du « centre spécialisé ». L'ouvrage de Moser et Scott, *British Towns* (1961), montre bien l'ampleur de la gamme des caractéristiques qui définissent un centre, et la façon dont on peut, par l'analyse factorielle (*cf.* pp. 251-253), les décomposer en quelques dimensions plus commodes à traiter. Du point de vue de la discordance de ces centres spécialisés avec la hiérarchie des places centrales, le problème est un peu plus simple; deux directions de recherches se présentent : la première est l'utilisation de données locales; la seconde, l'utilisation de comparaisons entre des données locales et des données régionales.

1° Le premier groupe d'études sur la classification des centres a pour fondement l'idée que la fonction d'un centre peut être partagée en deux composantes distinctes : d'une part les services destinés aux habitants, d'autre part les services destinés à la population extérieure au centre. Le vocabulaire anglais désignant ces deux aspects est varié : *city-serving* et *city-forming*, *self-production* et *exchange-production*, *secondary* et *primary*, *non-basic* et *basic*. En français, les expressions banal et spécifique ont été proposées (Carrière et Pinchemel, 1963, p. 249).

Isard et al. (1960, pp. 189-205) ont rédigé un compte rendu des études faites sur cette question. Déterminer la façon de partager la population d'un centre en éléments spécifiques et banaux pose des problèmes techniques ardues, et, parmi les études entreprises sur cette question, on ne compte qu'un petit nombre de monographies de villes, et pas d'étude comparative à l'échelle nationale. Le tableau 5.5 donne un exemple d'étude locale de ce type, concernant la ville de Wichita, au Kansas. Il montre que l'industrie minière, qui satisfait surtout des besoins extérieurs à la ville, a un caractère nettement spécifique, tandis que l'imprimerie, qui satisfait des besoins en grande partie locaux, est une activité banale. Malgré la somme de travail considérable qu'ont demandée de telles études, on peut douter de la possibilité, et de l'utilité, de classer ainsi bien des activités « mixtes ».

TABLEAU 5.5

CALCUL DE RAPPORTS SPÉCIFIQUE-BANAL¹

	Catégorie d'emploi		
	Total	Mines	Imprimerie
Marché desservi :			
— spécifique (national, régional, mondial)	29 250	900	514
— banal (local)	59 325	71	1 200
Rapports spécifique-banal	2,02	0,08	2,34
Multiplieur de l'emploi	3,02	1,08	3,34

1. Wichita, États-Unis, 1950.

Source : W. ISARD et al., *Methods of Regional Analysis*, 1960, p. 191.

2° Le second groupe d'études a pour fondement des comparaisons entre les données concernant une ville particulière et un repère établi à l'échelon national ou régional. Alexandersson (1956, p. 16) a passé en revue un certain nombre de tentatives faites en Suède et aux États-Unis. Un exemple typique est l'indice de spécialisation S_i , donné par la formule :

$$S_i = (N_i - N_j)/N_j$$

où S_i est l'indice de spécialisation de la ville de rang i dans l'activité N , N_i le pourcentage de la main-d'œuvre de cette ville qui est employé dans cette activité, et N_j le même pourcentage dans l'ensemble du pays. Ainsi Detroit, dont 28 % de la main-d'œuvre travaille dans l'industrie automobile, a, par rapport à une moyenne nationale de 1,5 % seulement, un indice de spécialisation de 17,6 pour cette activité. Malheureusement, cet indice est très sensible aux changements de définition de l'aire-repère, c'est-à-dire au fait que la comparaison est établie à l'échelle du pays, de la région ou de l'État.

Cette difficulté a conduit à faire des études plus fines, dans lesquelles on tient compte de la taille d'un centre pour définir son degré de spécialisation. A l'occasion d'une étude menée aux Pays-Bas, Klaasen, Torman et Koyck (1949) ont élaboré une technique dérivée de la méthode « spécifique-banal » qu'Ullman et Dacey (1962) ont adoptée aux États-Unis. En comparant les effectifs de main-d'œuvre travaillant dans des ensembles de villes du même ordre de grandeur, on peut estimer que la proportion la plus faible que l'on ait trouvée pour une activité, dans l'une quelconque des villes, représente le *minimum exigé*, c'est-à-dire le niveau le plus bas qu'une ville d'une taille donnée doit maintenir pour cette activité.

Ullman et Dacey ont étudié de cette façon quatorze activités, pour des villes des États-Unis réparties en six classes de taille. Parmi les quatorze villes de plus d'un million d'habitants, Washington (D.C.), où 2,3 % de la main-d'œuvre était employée dans l'industrie des biens durables, représentait le minimum dans cette partie du tableau. D'où la supposition que le minimum exigé pour une ville de plus d'un

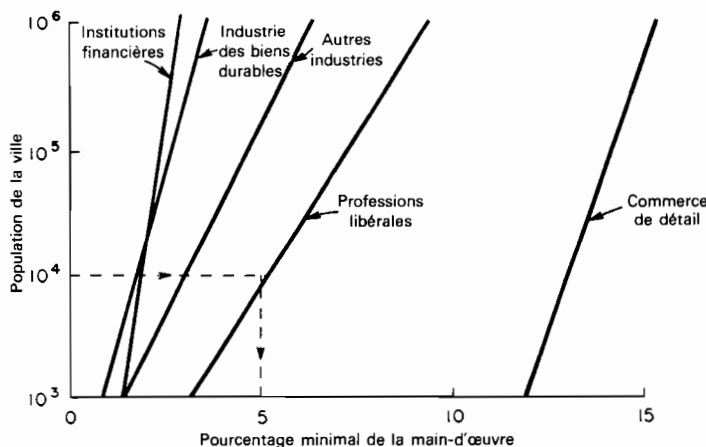


Fig. 5.14 — Classification des centres par la méthode du minimum exigé : droites de régression. États-Unis, 1950.

Source : ULLMANN et DACEY, 1962, p. 129.

million d'habitants était égal à 2,3 %. Ullman et Dacey ont calculé les minima semblables correspondant à chaque activité et à chaque classe de villes, rapporté graphiquement les deux paramètres l'un à l'autre, et calculé les droites de régression pour faire apparaître les liaisons moyennes. Comme le montre la figure 5.14, le minimum exigé variait selon les activités (comparer par exemple le commerce de détail et l'industrie), mais, pour chaque activité, les minima augmentaient toujours avec la taille des villes. Dans certains cas, par exemple celui des professions libérales, la liaison était nettement marquée; dans d'autres cas, par exemple celui des institutions financières, elle était moins significative.

Les droites de régression correspondant aux divers groupes d'activités sont ensuite utilisées pour calculer le minimum théorique correspondant à une ville d'une taille donnée; ainsi, dans la région de la baie de San Francisco, peuplée de 2 680 000 habitants en 1950, au moins 3,6 % de la main-d'œuvre sont, théoriquement, employés dans l'industrie des biens durables; en fait (tableau 5.6), la proportion est de 9,6 %. Les écarts entre les valeurs théoriques et les valeurs observées, pour chaque activité, peuvent être combinés, ce qui donne un indice unique de spécialisation S , calculé ainsi :

$$S = \frac{\sum_i \{ (P_i - M_i)^2 / M_i \}}{\{ \sum_i P_i - \sum_i M_i \}^2 / \sum_i M_i}$$

Dans cette formule, i désigne chacun des quatorze secteurs d'activité, P_i le pourcentage de la main-d'œuvre employé dans chacun des secteurs, et M_i le pourcentage minimum théorique correspondant à la taille de la ville (Ullman et Dacey, 1962, p. 137). Dans l'ensemble, les résultats suggèrent l'existence d'une forte liaison entre la taille des villes et leur spécialisation. La somme de tous les minima calculés pour les quatorze activités s'étend de 24 % (localités de 2 500 à 3 000 habitants) à 49 % (villes de 300 000 à 800 000 habitants). Plus la ville est grande, plus augmente le nombre d'activités spécialisées qu'elle peut entretenir dans les « niches écologiques » de la structure de sa population, et, ainsi, plus la ville peut se suffire à elle-même. Ce résultat est logique, car, au niveau le plus bas, la famille ne peut rien se vendre à elle-même, tandis qu'au niveau le plus élevé, la population totale du monde (soit environ trois milliards d'habitants) ne peut vendre qu'à elle-même.

TABLEAU 5.6

ESTIMATION DES MINIMA

	Industries des biens durables	Autres industries
Paramètres de l'emploi :		
Région de la baie de San Francisco (pourcentage observé)	9,6 %	10,0 %
Minimum exigé pour une région de cette taille (théorique)	3,6 %	5,5 %
Excès par rapport au minimum exigé	+ 6,0 %	+ 4,4 %

Source : E. L. ULLMAN et M. F. DACEY, in *Lund Studies in Geography*, 1962, p. 131.

Pour les cinquante-six villes de plus de 300 000 habitants existant aux États-Unis en 1950, l'indice variait de 15,2 à 1,4. Les villes pour lesquelles la valeur de l'indice était forte étaient des centres très spécialisés, comme la ville de l'acier, Youngstown (8,5); au contraire, pour des centres commerciaux plus équilibrés, comme Dallas et Denver, les valeurs étaient faibles (autour de 1,5).

3. LES DISTORSIONS DUES AUX DIMENSIONS DES ÉTABLISSEMENTS

Malgré la concordance évidente des activités industrielles avec la structure urbaine, des centres liés à des spécialisations et que nous appelons ici « non conformistes » (tableau 5.2) échappent aux principes de régularité des systèmes urbains. Le théoricien allemand de la localisation, Weber, dans son livre *Über den Standort der Industrien* (1909; Friedrich, 1929), posait en principe que les activités industrielles spécialisées sont situées près de leurs sources d'approvisionnement (*input sources*) (autrement dit, sont « orientées vers les matières premières »), à moins que d'autres facteurs ne causent des déviations. Ici, au contraire, nous partons de l'idée que les activités industrielles sont localisées près des lieux de destination de leurs produits (*output destination*) (autrement dit, sont « orientées vers le marché »), à moins que d'autres facteurs ne causent des déviations. Le problème de la concentration a été discuté en détail par Isard (1956, pp. 172-187; Isard et al., 1960, pp. 400-409) et par Hoover (1948, chap. 8).

La taille des établissements

Si l'importance des économies d'échelle dans la production industrielle est un fait bien établi, en théorie, pour l'industrie en général, il n'en va pas de même au niveau des diverses activités industrielles. L'étude empirique de Bain (1954) sur l'industrie aux États-Unis constitue une exception; la figure 5.15, fondée sur ses résultats, essaie de montrer combien l'importance des économies d'échelle diffère entre quatre types d'activité industrielle; l'augmentation relative des coûts, au-dessus d'un minimum estimé (zéro sur l'axe des y), est rapportée à une mesure-étalon de la taille des établissements, leur part de la capacité nationale de production dans une industrie

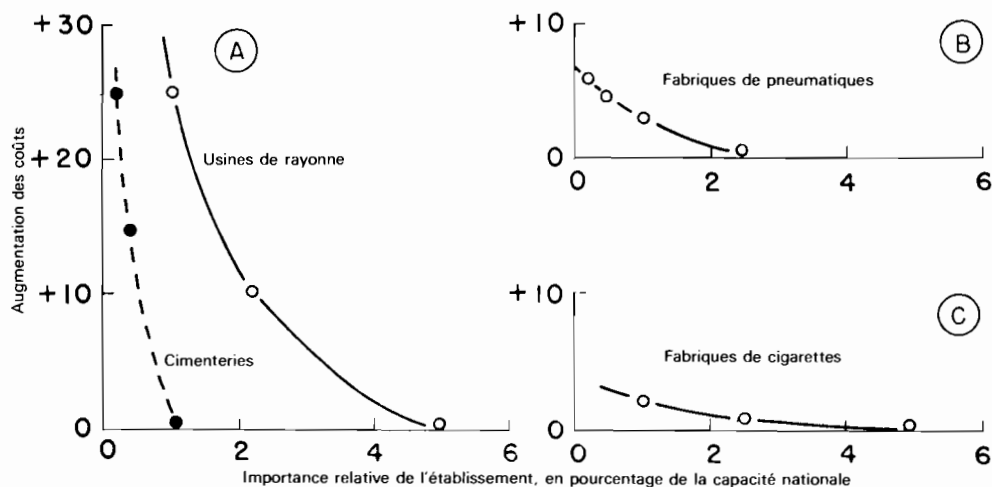


Fig. 5.15 — Liaison entre les coûts de production et l'importance des établissements.
Source : BAIN, 1954, p. 25.

donnée (axe des x). Les courbes relatives à ces industries prises à titre d'exemples montrent que, dans une industrie comme celle de la rayonne, les petits établissements fonctionnent avec un très sérieux handicap (les coûts de production sont plus élevés d'un quart dans ceux qui représentent moins de 1 % de la capacité nationale), mais qu'une industrie comme la fabrication de cigarettes est assez peu affectée par les différences de taille des établissements.

Isard et Schooler (1955) ont montré, à propos de l'industrie pétrochimique, l'importance prépondérante des économies d'échelle. Pour deux localisations possibles, Monroe, sur la côte du golfe du Mexique, et Cincinnati, dans la grande zone industrielle (*Industrial Belt*) des États-Unis, ils calculent le coût de trois composantes importantes — les transports, la main-d'œuvre, l'énergie — de la fabrication d'un produit pétrochimique (le glycol éthylnique). La différence des coûts est calculée en cents, pour la fabrication de 100 livres de produit (tableau 5.7). Elle est importante surtout en ce qui concerne le transport par voie ferrée : à peu près cinq fois plus que la différence maximale concernant la main-d'œuvre, dix fois plus que la différence maximale concernant l'énergie. Mais ces composantes sont toutes trois rendues insignifiantes par la différence énorme qui existe, dans les coûts de production, entre grands et petits établissements, et qui est plus de six fois supérieure à la différence correspondant au coût de transport par voie ferrée. Dans ces conditions, les différences de taille entre établissements deviennent le facteur dominant, et « éclipsent complètement toutes les autres différences de coût, considérées une à une ou ensemble » (Isard et al., 1960, p. 240).

TABLEAU 5.7

DIFFÉRENCES DE COÛT, DANS UNE INDUSTRIE PÉTROCHIMIQUE ¹

	Différence de coût, en cents par 100 livres
Transport :	
— par péniches	0,13
— par voie ferrée	0,60
Coût de la main-d'œuvre (différence maximale)	0,12
Coût de l'énergie (différence maximale)	0,06
Économies d'échelle (grands et petits établissements)	3,98

1. Entre Monroe (Louisiane) et Cincinnati (Ohio).

Source : W. ISARD et E. W. SCHOOLER, *Location Factors in the Petrochemical Industry*, 1955, pp. 19, 22-24.

On peut avancer que la taille des établissements influe sur leur localisation; le nombre potentiel de sites ou de communautés capables d'accueillir un très grand établissement est en effet inférieur au nombre de ceux qui peuvent en accueillir un petit. Il est certain que les données sur la distribution des établissements selon leur taille donnent à penser que les grands établissements sont moins nombreux et moins

répandus que les petits. La figure 5.16 présente, d'après le recensement industriel fait au Portugal en 1950, un exemple concret qui suggère que la taille des établissements et leur extension géographique ne sont pas sans rapport.

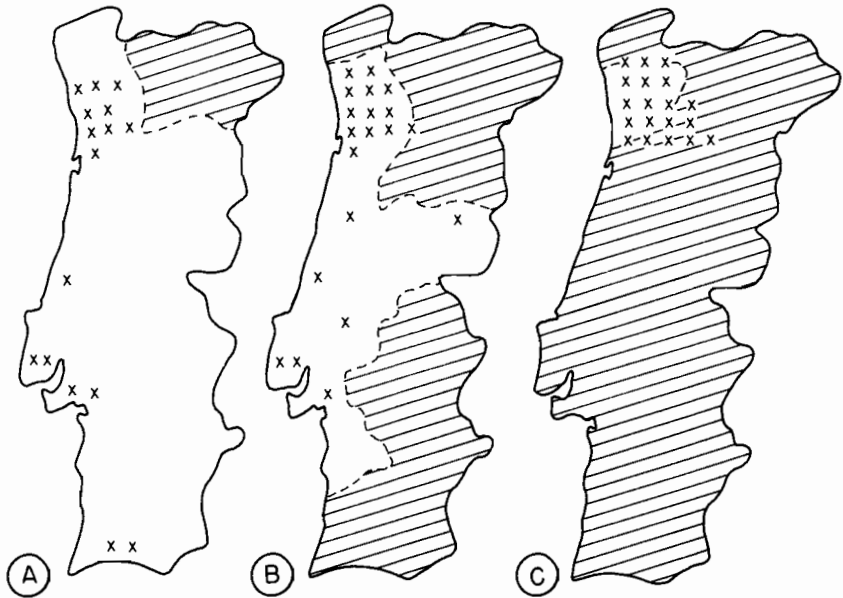


Fig. 5.16 — Distribution des établissements employant plus de 100 travailleurs (A), plus de 400 (B), plus de 1 600 (C), au Portugal ($G = 3,8$), en 1950. Les croix indiquent la localisation de 5 % des établissements de chaque catégorie; en grisé, les districts sans établissement de cette catégorie.

Florence (1953) a constaté l'existence d'une très forte connexion entre la « taille d'établissement prédominant dans une industrie » et le degré de dispersion : les industries caractérisées par de petits établissements présentent une tendance à la dispersion. Le tableau 5.8 illustre la relation entre la taille, définie en trois classes (petits, moyens et grands établissements), et le degré de localisation, mesuré par un coefficient de localisation; il s'agit des industries de Grande-Bretagne et des États-Unis à la fin des années 1930. A l'évidence, les industries caractérisées par de petits établissements sont le moins étroitement localisées. Ces industries sont dispersées pour diverses raisons, avant tout parce qu'elles accompagnent la dispersion de la population elle-même. Exemples remarquables : les industries où les contacts entre le fabricant et le client doivent être directs, et où l'exécution du travail peut entraîner un certain nombre d'allées et venues; l'imprimerie est un cas classique. D'autres industries, comme le bâtiment, exigent des contacts personnels, et sont largement disséminées en petites entreprises.

TABLEAU 5.8

TAILLE DES ÉTABLISSEMENTS ET DEGRÉ DE LOCALISATION¹

	Degré de localisation		
	Bas	Moyen	Élevé
Industries où prédominent :			
— les grands établissements	9 %	10 %	13 %
— les moyens établissements	6 %	4 %	11 %
— les petits établissements	29 %	8 %	10 %

1. Royaume-Uni, 1935; États-Unis, 1939.

Source : P. S. FLORENCE, *The Logic of British and American Industry*, 1953, p. 71.

Du point de vue de l'industrie elle-même plutôt que de celui des localisations potentielles, Bain (1954) a montré que la distribution des grands établissements est limitée de deux façons : par le coût absolu du plus petit établissement économiquement viable, et par la proportion du marché qu'un tel établissement détient. Le tableau 5.9 montre

TABLEAU 5.9

ESTIMATION DE LA TAILLE MINIMALE DE L'UNITÉ INDUSTRIELLE EFFICACE¹

	Total des capitaux nécessaires (en millions de dollars)		
	1 à 10	10 à 100	100 à 1 000
Proportion de la capacité de production nationale représentée par un établissement efficace :			
0,1 — 0,5 %	Minoterie (3) Chaussures (2) Conserves (3)		
0,5 — 1 % 1 — 5 %		Ciment (25) Pneumatiques (30)	Raffinage de pétrole (225) Acier (665)
5 — 10 %			Rayonne (135) Automobiles (500)
10 — 50 %		Machines à écrire (?)	Tracteurs (125)

1. Échantillon des industries des États-Unis, autour de 1951.

Les chiffres entre parenthèses donnent la plus haute estimation, en millions de dollars, du capital nécessaire à un établissement isolé efficace.

Source : J. S. BAIN, in *American Economic Review*, 1954, p. 36.

les résultats qu'il a obtenus; les industries sont classées en quatre groupes définis sur une échelle logarithmique, de sorte que, pour les établissements de la première catégorie, les investissements nécessaires sont à peu près cent fois plus grands que pour ceux de la troisième, et ainsi de suite. La production qui exige les plus gros investissements est celle de l'acier (665 millions de dollars), tandis que la fabrication de chaussures réclame seulement 2 millions de dollars.

Quand l'apport de capitaux est très réduit, comme dans la plupart des pays sous-développés, ce coût minimal absolu peut limiter la diffusion des établissements très coûteux, et tend à les localiser en un seul centre spécialisé dans le système urbain du pays. La lenteur de la diffusion des aciéries intégrées (Pounds, 1959), pour qui le minimum initial est très élevé, est un exemple typique de cette limitation; cependant, cette répartition théorique est quelque peu faussée par des raisons de prestige national.

Si un seul établissement économiquement viable représente une très petite part de la capacité de production totale, on peut soutenir que ses chances de dispersion sont plus grandes que dans le cas inverse. D'après les travaux de Bain, cette part de la capacité de production nationale varie amplement d'une industrie à l'autre. Le tableau 5.9 implique qu'il suffit, pour la fabrication des machines à écrire, de trois ou quatre établissements réellement efficaces pour desservir l'ensemble du marché des États-Unis, mais qu'il faut environ 500 établissements fabriquant des conserves de viande. Évidemment, le nombre réel des entreprises dépasse de beaucoup ces minima économiques, mais ceci est dû en grande partie à l'héritage du passé, et le processus de concentration est plus rapide, précisément, dans les industries où un établissement efficace peut desservir une très grande part du marché total.

Il résulte de cette situation que, dans certaines industries, on ne peut fonder un nouvel établissement que si on peut compter sur la « capture » d'une part importante du marché existant, et qu'il faut « voir grand » si on veut éviter de produire à des coûts largement supérieurs à ceux des concurrents en place. Des tentatives de pénétration dans des marchés bien établis peuvent se heurter aux décisions relatives à la fixation des prix prises par les producteurs en place; Rodgers (1952) a décrit ce processus, à propos de l'industrie de l'acier. Au contraire, pour les industries dans lesquelles les petits établissements sont efficaces, et n'ont besoin que d'une petite part du marché, la dispersion des établissements peut être très rapide, à mesure que se manifestent les demandes nouvelles de la population locale. L'effet de la taille des établissements, mesuré en chiffres absolus ou relatifs, est clair : limitation ou dispersion des activités spécialisées dans le réseau des villes.

Il se peut que l'industrie chimique, étudiée par Isard et Schooler (1955) constitue un cas extrême; mais bien des observations empiriques incitent à penser que la taille moyenne de l'unité de production, dans l'ensemble de l'industrie, va croissant. Chisholm (1962, p. 192) a montré que, de 1924 à 1954, en Grande-Bretagne, l'effectif moyen des établissements industriels employant plus de dix travailleurs a augmenté de moitié, passant de 87 à 134. Florence (1953), dans une étude comparative des industries britannique et américaine, a ajouté que cette tendance était encore plus forte dans cette dernière. L'importance de l'évolution est quelque peu masquée par les statistiques d'effectifs de la main-d'œuvre, car, par suite de l'automatisation,

une part plus importante de la production provient de grands établissements très peu nombreux. La tendance à l'augmentation de la taille est réelle, non seulement dans les industries où le nombre des emplois augmente (industries automobile et aéronautique) mais aussi dans les industries (minoteries) où le nombre total d'emplois diminue.

La concentration des établissements en « agrégats » régionaux

Les industries dont le degré de localisation est le plus élevé ne sont pas, comme on pourrait s'y attendre, caractérisées par de grands établissements mais par des établissements moyens. Certes, les grands établissements sont plus étroitement localisés que les petits, mais les cas les plus remarquables de localisation très concentrée — industrie du coton, de la laine, industrie automobile — sont généralement caractérisés par des établissements de taille moyenne (tableau 5.10). Il se peut que ce haut degré de localisation d'une industrie soit dû au fait que les établissements forment ensemble une seule grande unité de production. La différence réside en ce que les économies d'échelles sont internes dans le cas du grand établissement unique, externes dans le cas de l'« agrégat » étroitement localisé d'établissements.

TABEAU 5.10

GROUPEMENT DES INDUSTRIES D'APRÈS LEURS FORMES DE LOCALISATION

Coefficient de localisation	Degré de concentration	Forme de localisation	Exemple
Fort	Élevé	Agrégats	Industrie du coton
Moyen	Modéré	Dépendant de points d'extraction très localisés	Sidérurgie
Variable	Variable	1. Liée 2. Libre	Machines textiles Machines électriques
Faible	Faible	1. Dépendant de points d'extraction dispersés 2. Résidentielle	Briqueterie Boulangerie

Source : P. S. FLORENCE, *op. cit.*, 1953, p. 40.

Birmingham et la concentration du « Pays Noir » (*Black Country*), dans le centre de l'Angleterre, fournissent des exemples de ce que Florence a appelé « agrégats industriels » (*industrial swarming*). Parmi les dix-sept grandes activités industrielles localisées dans cette région, douze sont des industries métallurgiques fortement liées les unes aux autres. Florence (1944) a identifié quatre types d'intégration de ces industries métallurgiques : 1^o *intégration verticale* (par exemple liaisons entre l'affinage des métaux non ferreux et la production d'articles de quincaillerie non ferreux); 2^o *intégration convergente* (par exemple les fabrications de boulons, de tôles, de pneumatiques... convergent pour approvisionner l'industrie de montage d'automobiles);

3^o *intégration diagonale* (par exemple les fonderies et manufactures d'outils desservent un certain nombre d'industries locales); 4^o *intégration indirecte* (par exemple les industries alimentaires, dont la main-d'œuvre, surtout féminine, tend à équilibrer les emplois masculins prépondérants dans les industries métallurgiques).

A l'intérieur de cet enchaînement général, on peut discerner des complexes encore plus étroitement localisés de petits établissements intégrés. Wise (1949) a décrit en détail l'évolution des quartiers des joailliers et des armuriers à Birmingham, où deux douzaines d'établissements de joaillerie peuvent se trouver dans la même rue, avec une douzaine d'établissements intégrés traitant l'or en barres, les pierres précieuses, etc.

L'explication rationnelle de cette localisation extrême ne réside pas dans la répartition actuelle des ressources. Les réserves naturelles de charbon et de fer sont presque épuisées, et les liaisons par voie d'eau sont limitées à quelques canaux étriqués. Comme Florence le montre, il s'agit d'un cas de limitation de la localisation par elle-même : « l'ensemble du complexe d'industries associées de Birmingham et du Pays Noir aurait probablement pu s'épanouir en n'importe quel autre lieu, dans la mesure où ce lieu n'aurait pas été trop éloigné du centre du pays » (Florence, 1953, p. 88). Toutes ces industries forment un ensemble fortement lié qui n'a guère de rapports avec les conditions naturelles.

Des résultats semblables, concernant les États-Unis, ont été présentés par MacCarty, Hook et Knos (1956); dans une étude sur l'industrie des machines-outils, ils ont testé trois hypothèses, entre lesquelles il s'agissait de choisir, par analyse de régression, et ont trouvé qu'une hypothèse d'agrégation donnait les résultats les plus significatifs : le proverbe « Qui se ressemble s'assemble » résumerait bien le comportement de l'industrie en matière de localisation.

Foyers aléatoires : le problème des centres « non conformistes »

Les économies d'échelle, qu'il s'agisse des économies internes de l'établissement ou des économies externes de l'agrégat régional, peuvent expliquer la localisation *relative* des activités spécialisées; elles n'en expliquent pas la localisation *absolue*. Nous touchons ici au cœur d'un ensemble de problèmes non résolu (le cas de « Morris à Oxford », de « Ford à Detroit » ou de « Carnegie à Pittsburgh ») : pourquoi telle ville, plutôt que d'autres villes apparemment semblables, s'est-elle avérée une bonne rampe de lancement pour une grande aventure industrielle? La réponse se trouve probablement hors du champ de la géographie humaine, dans l'étude des personnalités et de l'opportunisme industriel; cependant, quelques manuels — notamment celui de Paterson (1960), dans un excellent exposé sur l'industrie aux États-Unis — effleurent ces problèmes. On peut soutenir qu'il existe des limites bien marquées, à l'intérieur desquelles les taux de natalité d'entreprises industrielles ont des chances d'être élevés (Beesley, 1955), mais il n'est, probablement, pas possible de circonscrire beaucoup plus étroitement ces localisations. Le problème des foyers aléatoires autour desquels s'est développée une si grande part de l'esprit d'entreprise, dans les pays industriels,

reste une des questions de localisation qui intriguent le plus les spécialistes de géographie historique et les théoriciens de la localisation.

Si importantes soient-elles, ces concentrations ont pour effet de distordre, non de détruire la hiérarchie urbaine. Même les pays très industrialisés, comme le Royaume-Uni, où se trouvent d'importants groupements de centres non conformistes, présentent une distribution des villes selon leur taille qui, comme Berry (1961-A) l'a montré, ne diffère pas tellement de celle des pays où la population est plus rurale et où, en même temps, la distribution des villes concorde mieux avec la hiérarchie idéale des places centrales.

4. LES DISTORSIONS DUES A LA LOCALISATION DES RESSOURCES

S'il est admis que l'industrie est généralement concentrée dans les villes, et que des différences de spécialisation, dues au hasard ou à l'importance des établissements, peuvent modifier la hiérarchie urbaine, certains centres spécialisés se maintiennent cependant en des localisations apparemment « excentriques ». Nous allons examiner quelques-uns des modèles qui ont été proposés pour expliquer ces localisations aberrantes (Isard, 1956, pp. 91-119; Isard et *al.*, 1960, pp. 375-412; Hoover, 1948, chap. 2 à 5).

La minimisation du mouvement : l'analyse de Weber

L'un des modèles classiques de localisation permettant d'aborder le problème des localisations excentriques est celui d'Alfred Weber. Dans son livre *Über den Standort der Industrien* (1909; Friedrich, 1929), Weber a proposé une théorie cohérente de la localisation des industries qui, en dépit de quelques inconvénients théoriques et pratiques, fournit un point de départ intéressant. Cette théorie est illustrée ici par des données empiriques concernant une industrie que Weber aurait pu considérer comme un exemple classique de son système : l'industrie de la fonderie du zinc (Cotterill, 1950).

La thèse de Weber est que les sites industriels sont choisis, *ceteris paribus*, de façon à minimiser les mouvements qui ne sont pas nécessaires; autrement dit, les sites représentent des positions d'énergie minimale. On peut concevoir le mouvement comme constitué par trois composantes distinctes : la *distance* à couvrir, le *poids* des matières premières à apporter (*inputs*) ou des produits à expédier (*outputs*), et l'*effort ou coût du transport* de ces matières et produits par unité de distance (*cf.* Isard, 1956, pp. 81-90). On peut combiner les deux premières composantes, distance et poids, pour obtenir un « *input* » brut de mouvement mesurable en tonnes/miles; on peut combiner cet indice avec l'effort pour obtenir un « *input* » net de mouvement mesurable en dollars/tonnes/miles. Pour plus de commodité, ce dernier indice de mouvement est désigné par la lettre *Q*.

LES HIÉRARCHIES

Le tableau 5.11 présente le calcul des *inputs* nets de mouvement, pour l'industrie prise ici comme exemple. On y voit comment le tonnage d'abord, les coûts de transport ensuite, modifient le total de mouvement par unité de distance, pour les quatre principales matières premières introduites dans la fonderie (*inputs*), et pour son principal produit (*output*). Le contraste le plus frappant oppose le charbon de chauffe et et

TABLEAU 5.11
CALCUL DES « INPUTS » NETS DE MOUVEMENT¹

	Localisation	Distance (en miles)	Poids (en tonnes)	Tarif de transport (en dollars par tonne/mile)	Input net de mouvement Q
<i>Outputs :</i>					
Zinc en plaques	ε	1,00	0,54	2,10	1,14
<i>Inputs :</i>					
Concentrés de zinc	α	1,00	1,00	1,00	1,00
Charbon de réduction	β	1,00	0,37	1,10	0,41
Charbon de chauffe	γ	1,00	1,08	1,10	1,19
Argile réfractaire	δ	1,00	0,10	0,50	0,05
Total des <i>inputs</i>		—	2,55	—	2,65

1. Industrie prise comme exemple : la fonderie du zinc.

Source : C. H. COTTERILL, *Industrial Plant Location*, 1950, pp. 62, 78, 87, 110.

l'argile réfractaire; le transport du premier, pour la même distance-étalon, représente un *input* net de mouvement à peu près vingt-quatre fois plus grand; ce contraste s'explique par le fait que le charbon entre en plus grande quantité dans le processus de production, et par le fait que ses tarifs de transport sont plus élevés. Bien entendu, le calcul a été très simplifié : en pratique, comme l'indique la figure 6.10, la courbe qui représente les variations des tarifs de transport tend à être convexe et à former des paliers (Alexander, Brown et Dahlberg, 1958; Alexander, 1963, pp. 473-475), mais l'*input* net de mouvement permet d'estimer *grosso modo* le mouvement relatif que l'on essaie de minimiser.

LA MINIMISATION DU MOUVEMENT DANS UN CAS COMPORTANT DEUX POINTS

Le concept d'*input* net de mouvement peut être utilisé de façon très simple dans le cas où l'on distingue deux points : on rapporte les mouvements dirigés vers l'établissement, ou mouvements de rassemblement, Q_a , aux mouvements accomplis à partir de l'établissement par les produits finis, ou mouvements de distribution, Q_b . On obtient ainsi un indice d'orientation, V , qui est ici égal à :

$$V = Q_a/Q_b$$

Quand la valeur de V dépasse 1, l'établissement est orienté vers ses sources de matières premières; quand V est inférieur à 1, l'établissement est orienté vers ses débouchés.

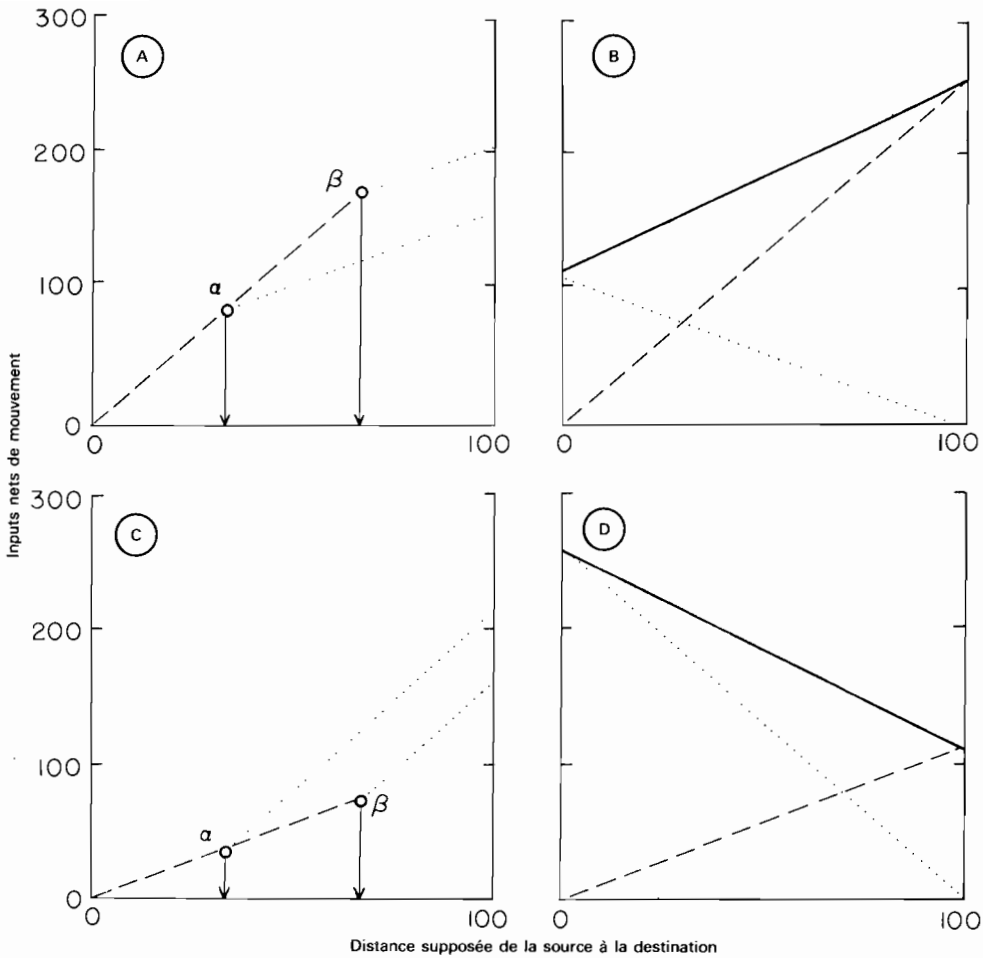


Fig. 5.17 — Analyse de Weber : orientation vers le marché ou lieu de destination (A, B); orientation vers la source de matières premières (C, D).

Dans l'exemple concret choisi (tableau 5.11), la somme des quatre mouvements de rassemblement (2,65) et l'unique mouvement de distribution (1,14) donnent un indice d'orientation égal à 2,32, selon lequel l'industrie étudiée est fondamentalement orientée vers ses sources de matières premières. On peut représenter très clairement cette situation par un graphique sur lequel on porte les valeurs des *inputs* nets de mouvement propres à l'industrie étudiée, la distance de la source de matières premières au lieu de destination des produits étant supposée égale à 100 miles. Sur la figure 5.17 A, on voit que le mouvement total augmente à mesure que la localisation de l'usine est déplacée d'un point α proche de la source de matières premières vers un point β proche de la destination des produits fabriqués. Le terme général de l'indice

net de mouvement est indiqué sur la figure 5.17 B, où la droite en trait plein représente la somme des mouvements centripètes de rassemblement et des mouvements centrifuges de distribution. Ce graphique montre clairement que la localisation à la source de matières premières est, dans ce cas, la position d'énergie minimale.

Si les rapports étaient exactement inversés, c'est-à-dire si l'indice d'orientation V était égal à 0,43, la localisation serait également inversée. Les figures 5.17 C et 5.17 D présentent les solutions correspondant à cette situation; dans ce cas, la localisation en β est plus logique : la position d'énergie minimale, la plus efficace, est au lieu de destination des produits.

Weber (1909) a utilisé un rapport simple de poids pour calculer son propre indice d'orientation, un coefficient de poids obtenu en divisant le poids des matières premières rassemblées (*inputs*), y compris le charbon, par le poids des produits distribués (*outputs*). Cet « indice de matières premières », qui attribue des valeurs caractéristiques aux diverses branches industrielles (par exemple 4,0 aux hauts fourneaux et 1,3 aux fabriques de tuyaux, dans la sidérurgie), lui a permis de diviser les industries en deux groupes, selon l'orientation de leurs localisations, vers les matières premières ou vers le marché, et lui a fourni la base de la distinction, commode bien que vague, entre « industrie lourde » et « industrie légère ». Cet indice est discuté en détail dans le livre de Friedrich (1929, pp. 48-75).

Smith (1955) a testé l'efficacité de l'indice de Weber en l'appliquant à l'étude de soixante-cinq industries britanniques. Il a constaté que l'indice de matières premières distinguait assez bien les industries localisées près des sources de matières premières (par exemple le traitement des betteraves sucrières, dans les régions d'Angleterre consacrées principalement à l'agriculture) des industries manifestement non localisées près des sources de matières premières, mais que la corrélation n'était nullement parfaite. Les résultats étaient plus clairs si le poids du charbon était éliminé des calculs (tableau 5.12). Mais Smith, ne se contentant pas des résultats donnés par l'indice de matières premières, a poursuivi sa recherche en examinant d'autres indices suscep-

TABLEAU 5.12

INDICE DE MATIÈRES PREMIÈRES DE WEBER
ET MODES DE LOCALISATION CARACTÉRISTIQUES ¹

	Indice de matières premières ²		
	inférieur à 1,0	compris entre 1,0 et 2,0	supérieur à 2,0
Nombre d'industries			
— localisées près des matières premières	2	17	3
— non localisées près des matières premières	16	14	1

1. Grande-Bretagne, 1948.

2. Charbon non compris.

Source : W. SMITH, « The Location of Industry », *Institute of British Geographers, Publications*, 1955, p. 8.

tibles de donner une classification utile des localisations des industries. Trois de ces indices (Smith, 1953, appendice C) étaient au moins aussi discriminants que l'indice de Weber : 1^o le poids de matières par ouvrier (ce rapport avait des valeurs plusieurs centaines de fois plus grandes pour les hauts fourneaux que pour la fabrication des voitures); 2^o la quantité d'énergie électrique utilisée *per capita*; 3^o le pourcentage de main-d'œuvre masculine dans le total des effectifs employés. A des valeurs très élevées de ces indices correspondaient des localisations nettement orientées vers les sources de matières premières.

D'autres chercheurs, comme Duerr (1960), ont proposé d'autres indices, tels que la valeur spécifique (valeur d'un produit, divisée par son poids), permettant d'obtenir une classification des activités industrielles d'après leurs localisations. Mais ces indices, comme ceux de Weber et de Smith, se sont avérés valables surtout pour les cas extrêmes de comportement en matière de localisation, plutôt que pour les cas de localisation intermédiaire entre la source et la destination. MacCarty (MacCarty et *al.*, 1956, pp. 81-121) a défini la liaison existant, aux États-Unis, entre la localisation de l'industrie des machines-outils et celle d'industries métallurgiques connexes. Comme la

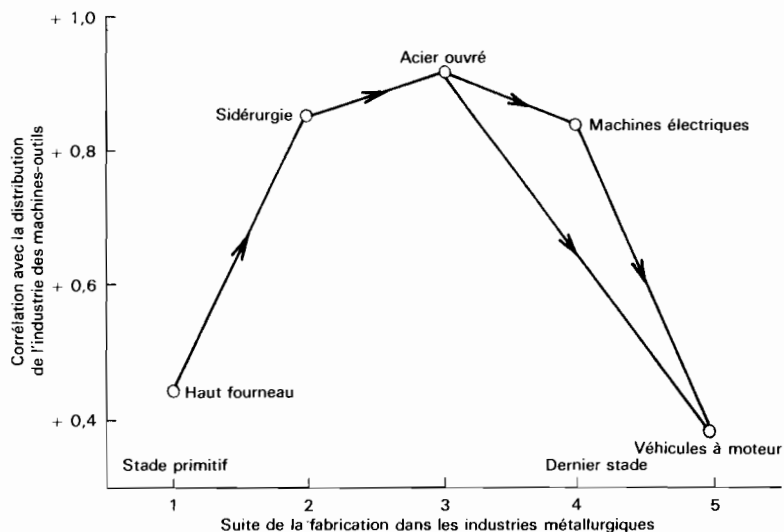


Fig. 5.18 — Application d'hypothèses de liaison à la localisation de l'industrie des machines-outils aux États-Unis.

Source : MACCARTY, HOOK et KNOS, 1956, p. 109.

figure 5.18 le montre, cette industrie n'est fortement liée ni au stade primitif du travail des métaux (par exemple aux hauts fourneaux) ni au stade ultime de la transformation (par exemple au montage des automobiles). Entre ces deux extrêmes, elle est en forte corrélation avec les stades intermédiaires de la chaîne des industries métallurgiques, la liaison la plus étroite ($r = +0,910$) étant établie avec l'industrie de l'acier ouvré.

LA MINIMISATION DU MOUVEMENT DANS UN CAS COMPORTANT n POINTS

La multiplicité des sources de matières premières et des lieux de destination des produits est la règle plutôt que l'exception, et les cas comportant deux points considérés ci-dessus ne s'appliquent guère aux localisations réelles. Weber, pleinement conscient de ce problème, a élaboré des méthodes adaptées au traitement de situations comportant trois, quatre et n points.

Voici comment résoudre un problème comportant cinq points, qui correspondent aux cinq composantes de l'industrie de la fonderie du zinc (tableau 5.11). On suppose (fig. 5.19 A) que les cinq points, α (lieu d'origine du concentré de zinc), β (lieu d'origine du charbon de réduction), γ (lieu d'origine du charbon de chauffe), δ (lieu d'origine de l'argile réfractaire), et ϵ (lieu de destination du zinc en plaques), sont localisés au hasard; il s'agit de trouver, pour y implanter la fonderie, le point qui minimise l'*input* net de mouvement constitué par le rassemblement des quatre matières premières et l'expédition du produit fini à son point de destination.

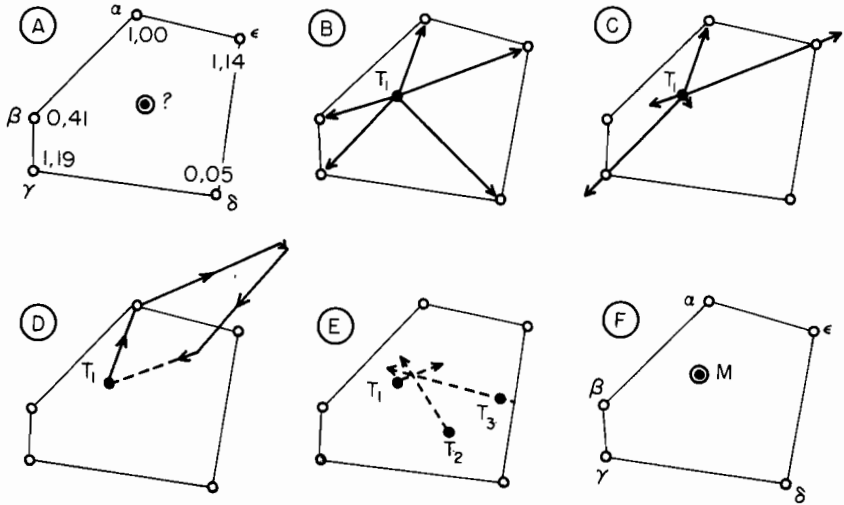


Fig. 5.19 — Stades de la recherche d'une localisation optimale par analyse vectorielle.

On choisit à titre d'essai (fig. 5.19 B) un point de localisation T_1 à l'intérieur du polygone formé par les droites qui relient les cinq points; dans le langage de Weber, ce point est à l'intérieur du « tableau de forces de localisation ». On mesure ensuite les distances qui séparent ce point d'essai des cinq points $\alpha, \beta, \dots, \epsilon$, et on pondère ces distances par les valeurs des poids à transporter et des tarifs de transport, de façon à obtenir une série de *vecteurs* qui rayonnent à partir de T_1 (fig. 5.19 C). La longueur de chaque vecteur est proportionnelle à l'*input* net de mouvement (Q), de sorte que, par exemple, le segment tracé vers le lieu d'origine du charbon de chauffe (γ) est beaucoup plus long que le segment tracé vers le lieu d'origine de l'argile réfractaire (δ).

On peut résoudre le diagramme de forces représenté par les vecteurs de la figure 5.19 C de plusieurs façons : en employant un modèle mécanique (Cotterill, 1950, p. 67), ou algébriquement (Pick, *in* Friedrich, 1929, pp. 226-252), ou graphiquement. On a utilisé ici la méthode graphique; illustrée par la figure 5.19 D, elle consiste simplement à faire la somme géométrique des vecteurs, en construisant un polygone de forces à partir duquel on peut déterminer la résultante (Sears et Zemansky, 1964, pp. 9-16). Le point de mouvement minimal est situé sur la droite passant par l'extrémité du vecteur résultant et par le point d'essai T_1 . On peut trouver sa localisation exacte en répétant la même opération à partir d'un deuxième point, T_2 , et vérifier cette localisation à partir d'un troisième point d'essai, T_3 . Comme la figure 5.19 E le montre, les droites résultantes obtenues à partir de chacun des trois points se coupent en un point unique. Ce point, M sur la figure 5.19 F, est la localisation optimale de l'usine, du point de vue des coûts de mouvement; c'est en ce point que les forces de localisation sont « en équilibre ».

CRITIQUE DE LA MÉTHODE DE MINIMISATION DU MOUVEMENT

Un certain nombre d'arguments techniques peuvent être opposés au raisonnement de Weber, pour des raisons purement économiques : ils ont été exposés par Isard (1956) et par Greenhut (1956, pp. 8-16); mais, même du point de vue géométrique, l'insuffisance de cette méthode apparaît lorsque les lieux d'origine et de destination deviennent plus nombreux et *changent*.

Tout aussi importante est l'évolution technique, qui réduit l'importance des coûts de transport dans l'analyse des localisations, et qu'on peut définir sommairement ainsi : 1° la diminution progressive des coûts de transport par rapport au total des coûts de production; 2° la réduction progressive du poids des matières premières nécessaires à la fabrication d'un produit donné, grâce à l'amélioration des techniques, d'où la diminution du poids à transporter; 3° le fait que l'abaissement des coûts de transport est plus rapide pour les marchandises en vrac que pour les produits finis. Les facteurs 1, 2 et 3 ont pour effet de rendre moins nécessaires les localisations excentriques, et de placer encore plus rigoureusement l'industrie dans le cadre de la hiérarchie urbaine. Cette tendance est encore renforcée par deux autres éléments de changement; 4° le fait que l'expansion des derniers stades de la fabrication (qui tendent à être orientés vers le marché) est plus grande que celle des premiers stades; 5° l'augmentation du poids des motifs non économiques dans la prise des décisions concernant les localisations (politique sociale ou politique de défense au niveau gouvernemental, par exemple).

La meilleure façon de donner aux modèles de mouvement la place qui leur revient, vis-à-vis des autres facteurs qui influent sur les formes de répartition de l'industrie, est à rechercher dans les nombreuses monographies d'industries publiées depuis 1950. Alexander (1963, pp. 288-463), étudiant six importants groupes d'industries, a fait une mise au point contenant des bibliographies très complètes; de son côté, Lindbergh (1953) a mis à l'épreuve les thèses de Weber à propos d'une industrie particulière, l'industrie suédoise du papier.

Les irrégularités de l'espace de localisation

Dans l'analyse des coûts de mouvement faite ci-dessus, on a supposé que les coûts de production locaux (main-d'œuvre, énergie et eau sont les exemples traditionnels) étaient partout les mêmes. Weber avait une conscience aiguë du caractère peu réaliste de cette idée d'espace de localisation uniforme, et il a essayé, avec son « coefficient de main-d'œuvre », d'introduire dans l'analyse l'effet de ces irrégularités.

L'idée qu'il existe des irrégularités, régionales et locales, dans la surface de coûts, peut être rattachée à la discussion, menée ci-dessus, des problèmes de mouvement comportant deux points. En ajoutant aux diagrammes des figures 5.17 A et 5.17 B une surface de coûts irrégulière (dont une section est représentée en grisé sur la figure 5.20), on peut saisir la façon dont la modification régulière des *inputs* de

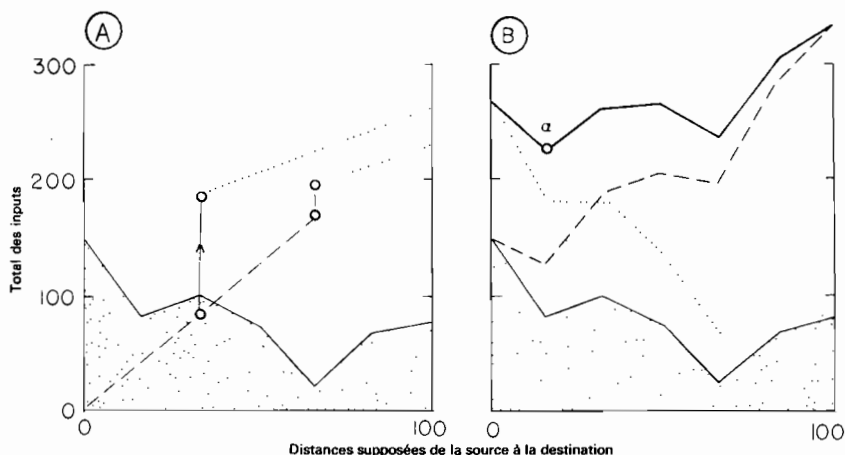


Fig. 5.20 — Effet des irrégularités de la surface de ressources locales sur le cas d'orientation vers le marché représenté sur la figure 5.17-A, B.

mouvement est déformée par ces irrégularités locales. Celles-ci suffisent, sur la figure 5.20 A, à inverser les avantages des sites α et β , et, sur la figure 5.20 B, à gauchir la surface d'effort minimal à tel point que la localisation optimale est déplacée de l'origine au point α .

Il est clair que l'importance des irrégularités de l'espace de localisation varie avec l'ampleur des irrégularités de la surface de coût locale, et avec l'importance relative de ces différences locales dans la structure globale des coûts propre à cette industrie. Greenhut (1956, pp. 123-139) et Isard (1956, pp. 126-142) ont passé en revue ces variations locales des coûts de fabrication.

Les substitutions locales d' « inputs »

Quand on lit les ouvrages courants sur la « localisation des industries », il est difficile d'éviter de se placer dans la perspective d'un comportement uniforme à l'intérieur

d'une industrie. L'expression « une industrie » n'est pourtant, Florence (1953, pp. 15-21) l'a fait remarquer, rien de plus qu'un terme collectif commode pour désigner des établissements dont les types de produits peuvent varier énormément, ou qui peuvent produire des objets semblables en employant des procédés différents. Par exemple, les complexes pétrochimiques, si leur localisation est telle qu'ils disposent de gaz naturel à bon marché, utiliseront habituellement de plus grandes quantités de gaz que de mazout; à l'inverse, en des localisations où le mazout coûte moins cher que le gaz naturel, le premier peut être substitué au second. En chaque localisation particulière peut exister une structure locale des facteurs de coût, dont la pondération peut représenter une économie considérable par rapport aux combinaisons fixes que l'on suppose exister quand on analyse « une industrie » (Luttrell, 1962).

UN EXEMPLE THÉORIQUE DE SUBSTITUTION

Isard (Isard et al., 1960, pp. 415-419) a donné un bon exemple théorique de substitution. Il envisage une localisation pour laquelle on a le choix entre deux activités industrielles rémunératrices, I et II. Chaque activité combine différemment l'utilisation de quatre ressources de base (eau, sol, main-d'œuvre, capitaux), et ces ressources n'existent qu'en quantités limitées. Les ressources nécessaires à chacune des deux activités et le total des ressources disponibles sont tels que le tableau 5.13 les présente.

TABLEAU 5.13

EXEMPLE THÉORIQUE DE RESSOURCES NÉCESSAIRES A DEUX ACTIVITÉS
SOLUTION PAR PROGRAMME LINÉAIRE SIMPLE

	Unités de ressources exigées		Total des unités disponibles en une localisation donnée
	par l'activité I	par l'activité II	
Ressources :			
Eau (a)	0,5	0,6	6,0
Sol (b)	0,2	0,15	1,8
Main-d'œuvre (c)	0,4	0,2	3,0
Capitaux (d)	3,0	2,0	24,0

Source : W. ISARD et al., *op. cit.*, 1960, p. 146.

Le problème fondamental de substitution se pose ici entre les deux activités. Faut-il consacrer toutes les ressources locales à l'activité I, ou à l'activité II, ou à une combinaison de I et II? Selon Isard, dans cette situation simplifiée, le problème peut être résolu très simplement par *programmation linéaire*. Une solution graphique est présentée par la figure 5.21, où, sur tous les graphiques, l'activité I (en ordonnée) est rapportée à l'activité II (en abscisse).

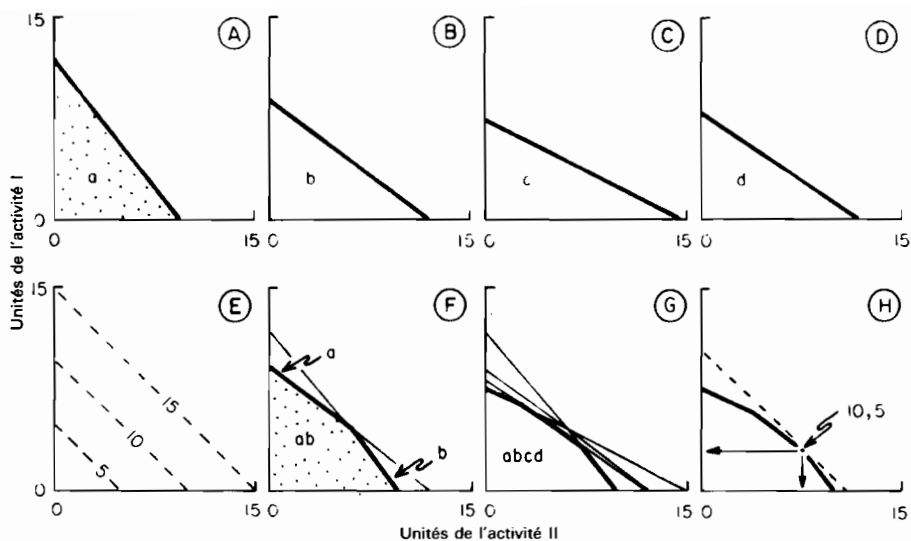


Fig. 5.21 — Étapes de la solution graphique d'un programme linéaire simple à quatre facteurs.
Source : ISARD et al., 1960, p. 417.

Chacune des quatre premières courbes indique la solution graphique pour une seule ressource. En ce qui concerne l'eau, les six unités disponibles peuvent être entièrement consacrées à l'activité I, ce qui donne 12 unités d'*input* (6 divisé par 0,5), à porter sur l'axe des ordonnées; ou bien elles peuvent être entièrement consacrées à l'activité II, ce qui donne 10 unités d'*input* (6 divisé par 0,6), à porter sur l'axe des abscisses. La droite qui joint les deux points ainsi obtenus (fig. 5.21 A) représente toutes les combinaisons possibles de I et II qui épuisent exactement les six unités disponibles. Toutes les combinaisons représentées par les points situés au-dessous de la droite, dans la surface en grisé, sont techniquement réalisables puisqu'il y a assez d'eau, mais inefficaces puisqu'elles n'utilisent pas toute l'eau. A l'inverse, les combinaisons représentées par les points situés au-dessus de la droite sont techniquement impossibles, en cette localisation, parce qu'elles demandent des quantités d'eau supérieures à la quantité localement disponible. A chacune des trois autres ressources correspond sa courbe particulière; les trois courbes sont tracées sur les figures 5.21 B, C, D.

Il est clair que, pour résoudre le problème, il faut prendre en considération les quatre ressources à la fois; on peut superposer simplement les courbes caractéristiques de chacune des ressources. La figure 5.21 F représente la superposition des droites correspondant aux disponibilités en eau (a) et en sol (b). Ici, la surface en grisé (ab) représente les combinaisons qu'on peut adopter en tenant compte des deux ressources, et la courbe en trait épais représente les combinaisons les plus efficaces. Sur le même graphique, la surface a représente les combinaisons possibles du point de vue des

ressources en eau mais impossibles du point de vue des disponibilités en sol; la surface *b* représente le point de vue inverse.

Sur la figure 5.21 G, le processus de combinaison est poursuivi, de façon à tenir compte de toutes les ressources; d'où un polygone convexe, l'« enveloppe convexe » des mathématiciens (Isard et *al.*, 1960, p. 418), dont les points définissent toutes les solutions efficaces. A l'intérieur de l'enveloppe se trouvent les points représentant des solutions possibles mais inefficaces (surface *abcd*), tandis qu'à l'extérieur se trouvent les solutions impossibles. On sait, de toute façon, que toutes les solutions efficaces sont quelque part sur l'enveloppe convexe; il reste à déterminer la solution la plus efficace.

Sur la figure 5.21 E, des droites d'égal revenu sont tracées en diagonale; leurs valeurs croissent à partir de l'origine. Le point correspondant à la solution la plus efficace est celui où l'enveloppe coupe la droite d'égal revenu ayant la valeur la plus forte : il s'agit du point *z*, sur la diagonale de revenu 10,5 (fig. 5.21 H). Le point *z* correspond manifestement à une combinaison des deux activités; on peut relever ses coordonnées : 3,00 sur l'axe des *y*, et 7,5 sur l'axe des *x*. En d'autres termes, le parti à prendre le plus efficace, pour la localisation donnée et le cortège de ressources qui le caractérise, est le suivant : porter l'effort principal sur l'activité II (7,5 unités, ou 71 %), mais en maintenant un certain niveau de production dans l'activité I (3 unités, ou 29 %).

L'exemple pris par Isard était évidemment un exemple simple, et c'est le problème posé par un ensemble beaucoup plus complexe de ressources et d'activités qu'il faudrait résoudre dans la pratique (Vajda, 1961). Cependant, le principe suivant demeure : puisqu'il est vraisemblable que les localisations, du point de vue du site et de la situation, offrent des ressources locales différentes, il est également vraisemblable qu'en chaque localisation on devra adopter (soit par raisonnement scientifique, soit par essais et erreurs) ce « panachage » d'activités qui permet de tirer largement profit des ressources d'accès facile et d'épargner les ressources rares.

UN EXEMPLE CONCRET DE SUBSTITUTION

Cotterill (1950) a opposé les combinaisons de facteurs adoptées par deux établissements spécialisés dans la fonderie et situés en des localisations différentes, l'une dans la grande zone du gaz (*Gas Belt*), au Texas, et l'autre dans le bassin houiller de l'Illinois, près de Chicago. Les deux fonderies ont les mêmes productions, mais les structures de leurs coûts de production sont différentes. Le tableau 5.14 indique sommairement les principales composantes des coûts, pour les deux fonderies.

Les données font ressortir l'avantage considérable dont la fonderie la plus éloignée, celle du *Gas Belt*, dispose en ce qui concerne les quatre éléments du coût de production. Les deux tiers de cet avantage proviennent du moindre coût des matières premières, et un quart du coût de la main-d'œuvre, moindre dans cette région écartée. Étant donné que l'avantage global de la fonderie du *Gas Belt*, du fait de sa localisation, par rapport à celle de l'Illinois, est de l'ordre de 4 contre 3, on peut légitimement se demander pourquoi la seconde continue à produire.

TABLEAU 5.14

**COÛTS DE PRODUCTION DANS DEUX FONDERIES
SITUÉES DANS DES RÉGIONS DIFFÉRENTES¹**

Éléments du coût, coût relatif ²	Illinois	« Gas Belt »	Origine de l'avantage du « Gas Belt » (% de l'avantage total)
Coût des matières premières	1,70	0,59	70,0
Coût de la main-d'œuvre	1,43	0,70	22,3
Coût du combustible et de l'énergie	1,72	0,58	7,5
Coût des transports	1,02	0,98	0,2

1. Centre des États-Unis, 1948.

2. L'égalité des coûts donnerait la valeur 1,0 aux deux régions.

Source : C. H. COTTERILL, *op. cit.*, 1950, p. 134.

Selon Cotterill, la réponse se trouve dans le fait que l'établissement de l'Illinois vend des sous-produits, notamment de l'acide sulfurique, ce dont l'établissement du *Gas Belt*, du fait de sa localisation, ne peut profiter. La production d'acide sulfurique entraîne une forte économie sur la consommation d'eau (une unité contre trois); l'acide ne peut pas être jeté n'importe où à cause de ses propriétés corrosives, et c'est un produit de faible valeur spécifique, qui ne peut supporter le coût du transport sur une longue distance. Compte tenu de tous ces faits, l'acide sulfurique est un produit fortement orienté vers le marché, qui ne peut être produit économiquement que dans une grande région industrielle ou près d'elle. Grâce à la vente de sous-produits, le déficit net de la fonderie de l'Illinois est transformé en un bénéfice qui lui permet de se maintenir en cet endroit près du marché. Il est clair que le même produit peut être fabriqué à partir de combinaisons de facteurs différentes, de sorte que l'établissement de corrélations simples entre la localisation d'une certaine production et une série type de facteurs de production (*inputs*) constitue une simplification abusive.

LES SURFACES

Nous avons considéré jusqu'à présent l'ossature du système régional (le réseau des voies de communication et la hiérarchie des nœuds) et les mouvements qui en assurent la cohésion. Mais la plus grande partie de la surface de la terre consiste en zones interstitielles, situées autour de l'ossature, et que l'on étudie traditionnellement du point de vue de l'utilisation du sol. Nous considérons ici ces zones non comme une mosaïque complexe de catégories d'utilisation du sol, mais comme des surfaces de densité. Sous cette forme plus abstraite, il est possible de saisir l'unité d'un certain nombre de phénomènes et de concepts différents, par exemple le taux de décroissance de la densité de population autour des villes et le modèle annulaire de Thünen.

1. SURFACES ET GRADIENTS

La nature des surfaces

Envisager la population soit comme une série de groupements distincts de tailles différentes, soit, par généralisation, comme une surface continue de densité de population, est en grande partie une question d'échelle. Les courbes d'égale densité de population peuvent être considérées comme des courbes de niveau démographique, analogues aux courbes de niveau d'une carte topographique; on pourrait même présenter des modèles à trois dimensions de répartition de la population, comme on présente des modèles de relief. Une telle surface peut être conçue statistiquement comme une « surface de réaction » dans laquelle l'altitude (c'est-à-dire la densité de population) varie en réponse à l'action de facteurs déterminants. La représentation

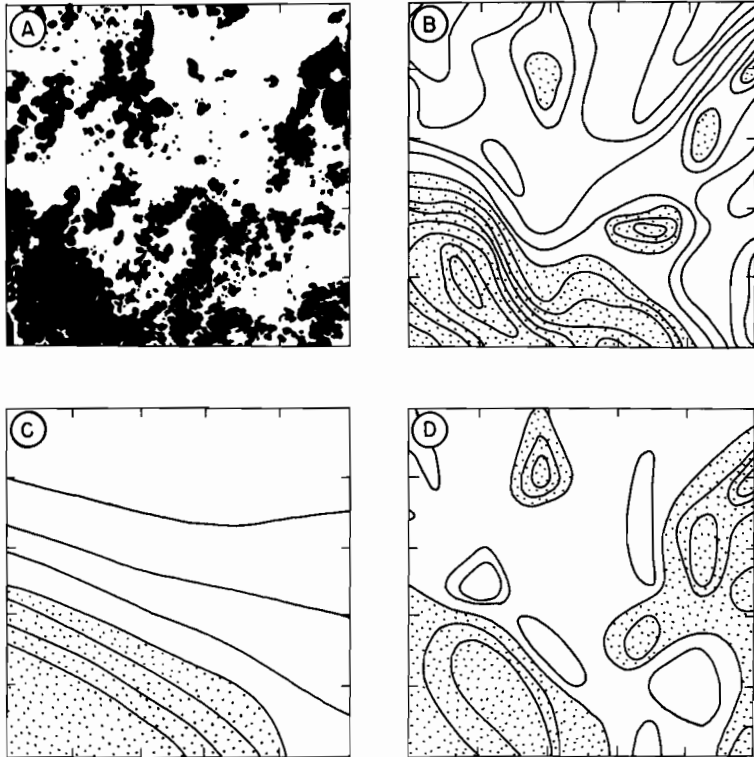


Fig. 6.1 — Transformation d'une distribution discontinue de l'utilisation du sol (A) en une surface continue représentée par des isarithmes (B); tendances de la distribution à l'échelle régionale (C) et résidus locaux (D). Carré échantillon ($G = 4,7$) de la forêt de *sobreiros* située dans le bassin du Tage et du Sado, dans le Centre du Portugal. Les intervalles entre les courbes sont de cinq degrés, et les surfaces situées au-dessus de la moyenne sont représentées en gris.

Source : HAGGETT, 1961-B, p. 20.

de distributions géographiques dépend de conventions cartographiques autant que de la nature propre des phénomènes à illustrer; il est ainsi facile de transformer le plan d'utilisation du sol présenté sur la figure 6.1 A, c'est-à-dire la répartition des forêts de chênes-lièges dans le centre du Portugal (Haggett, 1961-B), en une surface de densité (fig. 6.1 B) ou en une surface encore plus généralisée (fig. 6.1 C); il suffit de choisir des techniques cartographiques différentes. Les techniques adoptées pour ces cartes sont discutées au chapitre 9 (pp. 301-302).

D'un point de vue analytique, il est plus facile de travailler sur une coupe à deux dimensions tranchant la surface que sur la surface à trois dimensions elle-même. On peut ainsi imaginer des coupes traversant en diagonale les deux premières figures (6.1 A et 6.1 B) : la première présenterait une suite discontinue de secteurs couverts ou non par un type particulier de forêt, la seconde une pente continue mais variable. Dans la discussion ci-après, nous désignerons le premier type de représentation par l'expression *distribution en paliers*, dans laquelle la hauteur des paliers varie avec les caractéristiques (l'intensité) du type d'utilisation du sol. Nous désignerons le second type par l'expression *distribution de densité* : dans ce cas, des *pentés* distinctes peuvent être reconnues et étudiées.

Les pentes : gradients de densité

LES PENTES DANS LES ZONES URBAINES

L'étude de la forme des gradients de densité autour des villes a suscité de l'intérêt depuis que Thünen, en 1826, a traité ce sujet (Thünen, 1875); mais c'est un article polémique récent de Clark (1951) qui a de nouveau attiré l'attention sur ces phénomènes. Clark, ayant étudié les gradients de densité de population autour de trente-six villes échelonnées de Los Angeles à Budapest et de 1801 à 1950, soutient la thèse que, dans ces villes, les densités de population décroissent exponentiellement, et que cette règle générale apparaît comme valable, aussi bien dans l'espace que dans le temps. On peut exprimer cette règle générale par la formule :

$$P_d = P_o e^{-bd}$$

où P_d est la densité de population à une distance donnée (d) du centre, b le gradient de densité, et P_o la densité au centre, obtenue par extrapolation. A propos de cette formule, deux points méritent d'être notés : 1° par densité de population, on entend la densité de la « population résidente »; 2° la densité au centre est obtenue par extrapolation des pentes calculées à partir des densités des zones périphériques. Cette convention permet de surmonter le fait que, semblable à un cône volcanique, la ville, en son centre, a une faible population résidentielle (la résidence étant définie comme le lieu où chaque habitant passe la nuit).

La discussion porte sur deux points : les variations du niveau de la densité au centre (c'est-à-dire la hauteur du cône extrapolé) et les variations des gradients de densité (c'est-à-dire la forme des pentes, vers l'extérieur) :

1° Très peu d'études traitent directement de la densité au centre (P_o), en grande

partie parce qu'elle s'est avérée très difficile à définir. Winsborough (1961) a surmonté cette difficulté, indirectement, en démontrant que la densité au centre (P_o) est fonction de la densité de population globale de l'ensemble de la ville (P), indépendamment du gradient de densité b . Ce résultat implique qu'il est possible d'obtenir une valeur approchée de la densité au centre en étudiant la densité globale de la ville. Winsborough a trouvé une association positive et significative entre cette densité globale P d'une part, et d'autre part l'âge de la ville (mesuré d'après la proportion de logements anciens), la taille de la ville, et la proportion de la population employée dans l'industrie. Ainsi, théoriquement, les villes importantes, anciennes, industrielles, devraient avoir des densités globales de population assez fortes.

D'autres études ont partiellement confirmé l'action des deux premières variables (âge et taille) de la liaison. Berry, Simmons et Tennant (1963, p. 397) ont introduit la variable âge dans un modèle fonctionnel des densités au centre exprimé par la formule :

$$P_o = 0,53 + 0,63 A - 3,50 b^{-1}$$

où A est l'âge et b le gradient. L'âge (mesuré par le nombre d'années écoulées depuis que la ville a atteint une population de 50 000 habitants) et le gradient étaient l'un et l'autre statistiquement significatifs, au seuil de confiance de 99 %. Ensemble, les deux facteurs expliquaient 61 % de la variance des densités de population au centre, P_o .

Le rôle de la taille a également été étudié, par Clawson, Held et Stoddard (1960, p. 84). Selon ces auteurs, il se produit une augmentation régulière de la densité quand la taille de la ville s'accroît. Ils observent que les plus grandes villes des États-Unis (celles de plus de 250 000 habitants) contiennent 40 % de la population urbaine, mais couvrent seulement 19 % du sol urbain. La figure 6.2 représente la densité de toutes les zones urbanisées des États-Unis en 1950, et montre l'existence d'une liaison

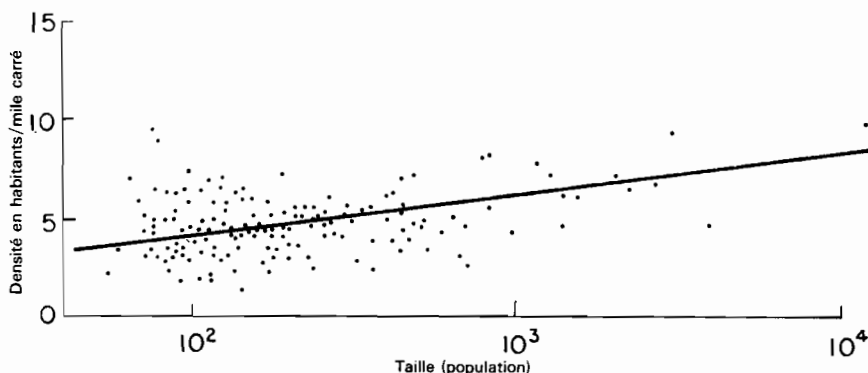


Fig. 6.2 — Liaison entre la densité de population ($\times 1\ 000$) des villes, et leur taille. États-Unis, 1950.

Source : CLAWSON, HELD et STODDARD, 1960, p. 83.

assez cohérente entre la densité (portée en ordonnée) et la taille de la ville (portée en abscisse, selon une échelle logarithmique). Cette liaison est valable, que le calcul de la densité soit fondé sur l'aire administrative de la ville ou sur la surface réellement urbanisée. Sur le graphique, les points sont assez dispersés autour de la droite de régression, ce qui fait apparaître l'influence, sur la liaison entre la taille et la densité, de facteurs « perturbateurs » tels que la fonction et l'âge; les *towns* de Nouvelle-Angleterre ont, par exemple, des densités typiquement faibles, qu'elles doivent à l'ampleur de leurs limites, qui englobent des étendues de terres agricoles et de forêts (chap. 7, section 1).

2° On a davantage étudié la forme du gradient (*b*). Berry (Berry et *al.*, 1963) passe en revue une vingtaine d'études fondées sur près de cent cas pris dans toutes les parties du monde et connues d'après des recensements s'étendant sur 159 ans. Le degré d'ajustement est variable, mais aucune preuve n'a encore été présentée à l'encontre de l'affirmation de Clark selon laquelle une fonction exponentielle négative serait un bon modèle descriptif du taux de décroissance de la densité autour des villes. En dépit de différences portant sur les vraies valeurs de la densité et de la distance, les graphiques faits pour Hyderabad en Inde (fig. 6.3 A) et pour Chicago aux États-Unis (fig. 6.3 B) présentent des tendances semblables.

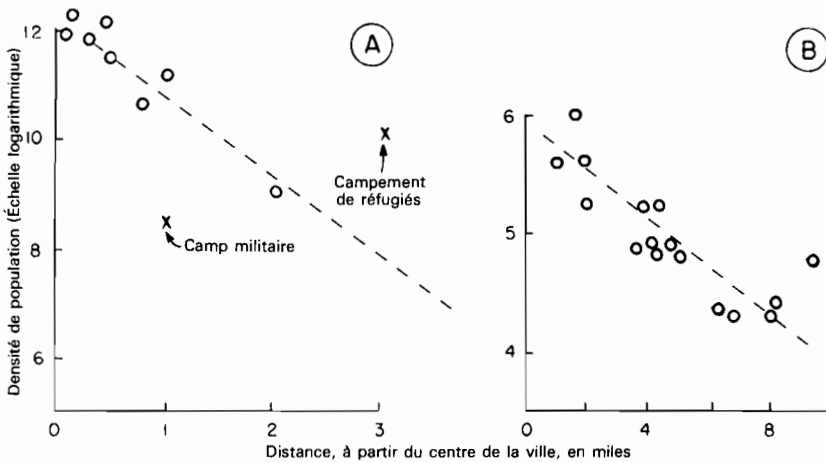


Fig. 6.3 — Liaison entre la densité et la distance : cas de Hyderabad, en Inde (A), et de Chicago, aux États-Unis (B).

Source : BERRY, SIMMONS et TENNANT, 1963, pp. 392, 394.

L'intérêt s'est donc déplacé, dans l'étude des gradients, vers la logique des variations du gradient. Muth (1962) a fait, pour les États-Unis, une analyse de régression, en rapportant le gradient de densité à onze variables susceptibles d'être explicatives; parmi ces variables, deux seulement, la taille de l'aire métropolitaine (S.M.A.) et la proportion de l'industrie installée hors de la partie centrale de l'aire, étaient en liaison significative avec le gradient *b*. Berry et *al.* (1963, pp. 398-399) ont, à leur tour, employé

la même technique en rapportant les gradients de cinquante-six villes des États-Unis à trois variables : la taille de la ville (M), la distorsion de sa forme (S), et la répartition de l'industrie (I). L'équation obtenue

$$\log b = 3,08 - 0,31 \log M - 1,0 \log S + 0,41 \log I$$

montre que, seule, la variable taille est statistiquement significative (au seuil de confiance de 95 %), et que 40 % seulement des variations des gradients sont ainsi expliqués.

La mesure de la distorsion de la forme a été inspirée pour une observation géométrique simple : *ceteris paribus*, le gradient de densité devrait théoriquement s'aplanir, à mesure que l'irrégularité de la forme s'accroît, « parce que des zones qui seraient normalement occupées par certaines densités ne sont plus disponibles, et que les modes d'utilisation du sol qui coïncident de préférence avec ces densités doivent aller ailleurs, vers le site disponible le plus proche » (Berry et *al.*, 1963, p. 398). Les distorsions de la forme les plus fortes ont été relevées pour des villes situées au bord d'une mer ou d'un lac; les effets de relief sont moins marqués.

LES PENTES DANS LES ZONES RURALES

Nous avons déjà noté les résultats de l'importante enquête de Bogue (1949), fondés sur l'étude des gradients autour de soixante-cinq villes des États-Unis (*cf.* pp. 107-109). Le profil général de ces pentes périphériques est conforme à la décroissance exponentielle qui, d'après Clark (1951), caractérise les zones internes de la ville, mais cette forme se prolonge jusqu'à plus de 300 miles de celle-ci. Les tendances de la population urbaine ayant déjà été étudiées (fig. 4.3), ainsi que celles de la population employée dans l'industrie (fig. 5.12), il ne sera maintenant question que de la densité de la *population rurale agricole*, c'est-à-dire de l'élément qui, à première vue, est le plus faiblement lié à une organisation spatiale polarisée.

La forme générale du gradient de la population rurale agricole est plus convexe que celle de la densité de l'ensemble de la population. Sur les cent premiers miles, la densité est d'environ 20 habitants par mile carré, et sa décroissance assez faible; de 100 à 300 miles environ, le gradient est plus abrupt, et la densité tombe à environ 4 par mile carré. Le gradient est très peu modifié par la taille de la ville-centre (alors que la taille est un facteur important quand il s'agit des gradients de la population urbaine et de la population employée dans l'industrie). Il subit davantage l'influence de la division de l'espace en secteurs : dans les secteurs sous-dominants, où sont les grands centres secondaires, le niveau de la densité dépasse la moyenne; il est moindre dans les secteurs routiers et locaux (définis sur la figure 4.4).

Les différences les plus frappantes affectant le gradient de densité sont peut-être celles que l'on peut observer entre les grandes régions des États-Unis. Les gradients modérés du Sud (fig. 6.4 A), la décroissance plus rapide du Nord-Est, où les densités de population agricole présentent un creux caractéristique dans les zones proches des villes (fig. 6.4 B), et la pente très raide des gradients de l'Ouest (fig. 6.4 C), soulignent les différences fondamentales qui existent, du point de vue des ressources agricoles, entre ces trois régions (Paterson, 1960).

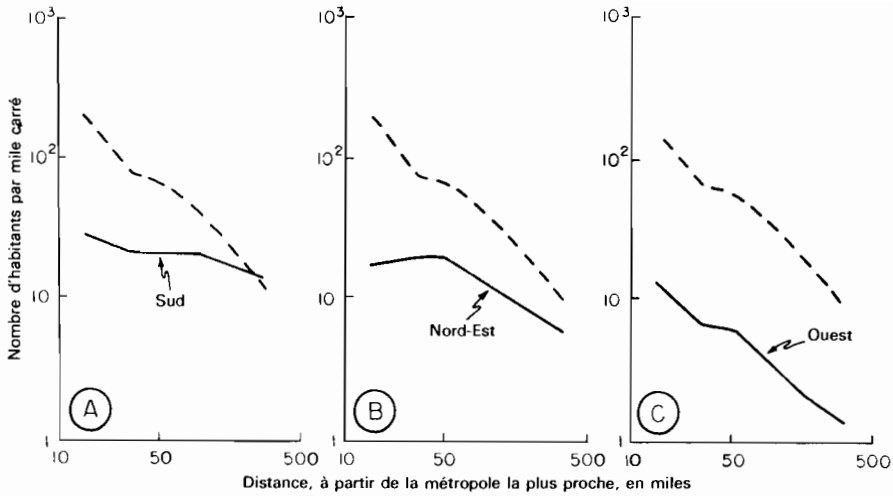


Fig. 6.4 — Liaison entre la distance et la densité de la population rurale agricole, dans les grandes divisions régionales des États-Unis, en 1940.

Source : BOGUE, 1949, p. 58.

Les discontinuités : zones d'utilisation du sol

Bien que la classification de la surface de la terre en zones d'utilisation différente du sol soit une tâche traditionnelle de la géographie, aucun des divers schémas élaborés depuis 1892 (Fox, 1956) n'est parvenu à établir une échelle quantitative de mesure (chap. 8, section 1). En dépit des propositions du congrès de l'Union géographique internationale tenu à Lisbonne en 1949 pour l'établissement d'un système de classification à l'échelle du monde, on n'a guère progressé dans cette direction. Les contributions essentielles restent les monographies régionales, par exemple l'étude de Board sur la région littorale de l'Afrique du Sud (1962).

La présentation des données sur l'utilisation du sol sous forme de classes (par exemple : forêts, cultures), plutôt que sous forme numérique, signifie que l'on considère le passage d'une classe à une autre comme une « rupture » ou comme un « palier » plutôt que comme un gradient. Chisholm (1962) a rassemblé une collection remarquable d'études empiriques, où ces types d'utilisation du sol sont rapportés directement à des quantités continues (par exemple, la distance à partir d'un point de peuplement). Les exemples s'échelonnent, d'après leur taille, de la ferme à la ville d'importance mondiale, dans le temps, du Moyen Age à l'époque contemporaine et, dans l'espace, de la Guyana à la Russie soviétique.

L'un des exemples les plus intéressants cité par Chisholm (1962, pp. 61-64) est celui des zones d'utilisation du sol autour d'un village de Sicile, Canicatti. Sur les figures 6.5 A à 6.5 C, le pourcentage de sol utilisé est rapporté graphiquement à la distance par rapport au centre du village; ceci pour trois types importants d'utilisation

du sol : les vignes, les olivettes et la terre cultivable non irriguée. Les vignes occupent environ 6 % de la surface étudiée, et sont fortement concentrées dans la zone interne (à moins de quatre kilomètres du centre), tandis que les oliviers sont le plus fortement représentés dans la zone moyenne (de deux à six kilomètres du centre). Le blé non irrigué domine le paysage de la zone externe, mais, étant donné qu'il couvre juste un peu plus de la moitié de la surface du sol, il est fortement représenté dans toutes les zones, et occupe la moitié de la surface consacrée aux trois cultures même dans la « zone urbaine » interne (à moins d'un kilomètre du centre). D'autres modes d'utilisation du sol se montrent sensibles à la distance; ce sont les pâturages, les friches et les taillis, tous caractéristiques des zones excentriques, et les citronniers, caractéristiques des zones internes.

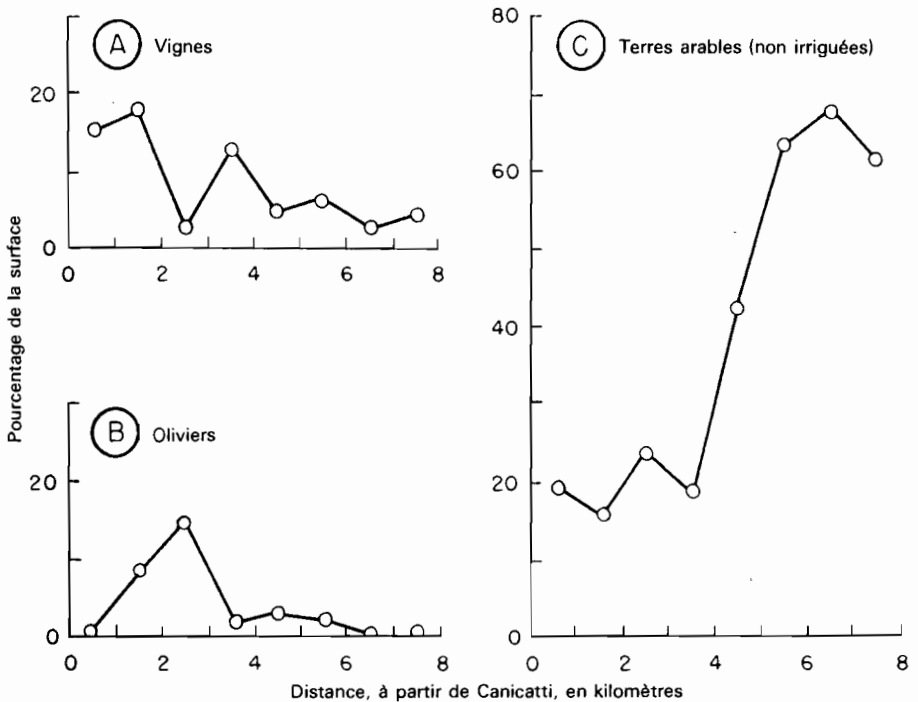


Fig. 6.5 — Relations entre l'utilisation du sol à Canicatti (Sicile) et la distance à partir du centre du village.

Source : CHISHOLM, 1962, p. 63.

Pour expliquer le plan observé, Chisholm s'est reporté à des estimations, fournies par l'Istituto Nazionale di Economia Agraria de Rome, des besoins annuels de main-d'œuvre par hectare correspondant aux diverses cultures. Le tableau 6.1 fournit le nombre des journées de travail consacrées aux trois cultures représentées sur la figure 6.5. Il est clair que les produits les moins exigeants sont situés le plus loin

TABLEAU 6.1

UTILISATION DU SOL, APPORTS (« *INPUTS* ») DE MAIN-D'ŒUVRE
ET DISTANCE PAR RAPPORT A L'HABITAT ¹

	Vignes	Olivettes	Cultures non irriguées
<i>Input</i> moyen de main-d'œuvre (en journées de travail par ha)	90	45	35
Distance modale à partir de Canicatti (en km)	1,5	2,5	6,5

1. Canicatti, Sicile.

Source : M. D. I. CHISHOLM, *Rural Settlement and Land Use*, 1962, p. 63.

du centre; les terres consacrées au blé, mises périodiquement en jachère, ont de faibles besoins en main-d'œuvre, et cèdent le pas aux vignes, qui sont soigneusement entretenues et irriguées. Même dans le cadre d'une culture particulière, il apparaît que les méthodes de culture deviennent moins intensives quand la distance augmente.

A une échelle plus petite, l'utilisation du sol varie avec la distance à partir de la ferme; Chisholm allègue des constantes observées en Suède, en Finlande, aux Pays-Bas et en Inde pour suggérer la généralité de ce phénomène. La décroissance des taux d'occupation en fonction de l'éloignement par rapport à la ferme indique une diminution des apports (*inputs*) de main-d'œuvre et de produits fertilisants; en général, un seuil critique existe, à environ 1 kilomètre. Une extension intéressante du concept de champ d'influence agricole est observable dans le Centre-Ouest des États-Unis, où Kollmorgen et Jenks (1958) ont attiré l'attention sur le phénomène des « agriculteurs non résidents » qui habitent à plus de trente miles de la limite du comté où leur ferme est située. Le fait que ces agriculteurs, dont certains ont un domi-

TABLEAU 6.2

LIAISON ENTRE L'UTILISATION DU SOL
ET LE DOMICILE DE L'AGRICULTEUR ¹

	Résidents	Non- résidents
Superficie moyenne de l'exploitation (en acres)	1 280	730
Pourcentage de la surface consacré :		
— aux cultures commerciales	14	60
— aux cultures fourragères	25	21
— aux pâturages	56	11

1. Comté de Sully, Dakota du Sud, États-Unis, 1950.

Source : W. M. KOLLMORGEN et G. F. JENKS, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1958 p. 34.

cile légal aussi lointain que Los Angeles, doivent se déplacer sur de longues distances pour exercer leur activité agricole a des effets décisifs sur les techniques de culture, et, par là, sur l'organisation de l'utilisation du sol. Comme l'indique le tableau 6.2, dans ces exploitations qui sont plus petites que celles des agriculteurs résidents, plus de la moitié de la surface est consacrée aux cultures commerciales, notamment en blé. Les exploitations des agriculteurs non résidents sont des secteurs de grande production de blé, dans des comtés, où, selon des usages locaux bien établis, prédomine un type d'exploitation fondé sur des cultures diversifiées et sur l'élevage (les deux tiers de la surface sont consacrés aux pâturages et aux cultures fourragères).

Les études faites dans des zones rurales ont pour pendant des enquêtes sur l'utilisation du sol dans des zones urbaines. Dickinson (1964, pp. 125-225) a résumé un certain nombre d'études importantes concernant la structure générale des zones d'utilisation du sol, aussi bien dans l'ensemble de la ville que dans les « régions naturelles » existant dans des parties déterminées de la ville. Bien qu'un grand nombre de monographies exhaustives aient été publiées sur des villes, par exemple celle de Jones (1960) sur Belfast ou celle d'Azevedo (1958) sur São Paulo, nous manquons encore d'études comparatives. L'ouvrage de Bartholomew *Land Use in American Cities* (1955) reste l'une des rares études où un échantillon de villes (dans ce cas, cinquante-trois villes-centres et trente-trois « villes-satellites ») est proposé, en vue de comparaisons directes. Tant qu'on n'aura pas analysé une plus grande masse d'informations sur l'utilisation du sol dans les villes, on restera probablement dans l'incapacité de vérifier ou de généraliser les divers modèles de croissance proposés jusqu'à présent (cf. pp. 199-204).

2. LES MODÈLES DE MOUVEMENT MINIMAL

La minimisation du mouvement : l'analyse de Thünen

Aux recherches de Weber sur la localisation dans l'industrie correspondent les recherches antérieures d'un autre Allemand, Thünen, sur la localisation en agriculture. Dans son œuvre majeure, *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft* (Thünen, 1875), dont la première édition a paru en 1826, Thünen a proposé une théorie cohérente de la localisation dans l'agriculture, qui non seulement a servi de point de départ à des analyses modernes plus fines (par exemple, l'ouvrage de Dunn, *The Location of Agricultural Production* (1954)), mais a incité Weber à étudier la localisation des industries. Les analyses de Thünen et de Weber ont beaucoup de points communs, car tous deux se sont intéressés à la minimisation du mouvement; elles diffèrent fondamentalement en ce que Weber cherche à localiser des *points* dans l'espace, et Thünen à localiser des *surfaces* (Hoover, 1948, chap. 6; Isard, 1956, pp. 188-206; Chisholm, 1962, pp. 21-35).

LES RELATIONS GÉOMÉTRIQUES FONDAMENTALES

Les problèmes de localisation de surfaces conduisent à la géométrie plane (Bunge, 1964, pp. 8-11). Soit le problème simple : comment placer des surfaces finies le plus près possible de points fixés à l'avance? La figure 6.6 présente quelques-uns des divers schémas possibles. Dans chaque cas, la surface totale (A) est la même, et D est la distance maximale entre le point ou la ligne fixés à l'avance et la partie la plus lointaine de la surface.

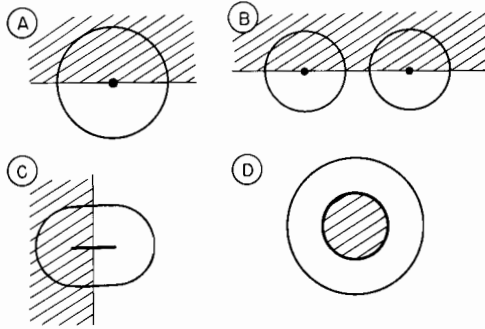


Fig. 6.6 — Variantes géométriques de la structure traditionnelle en anneaux de Thünen.

Dans le premier cas (fig. 6.6 A), il s'agit de disposer la surface le plus près possible d'un seul point; c'est le problème classique de l'« État isolé » de Thünen, dans lequel n'existe qu'un centre pourvu d'un marché : la solution est un cercle. Dans les cas suivants, deux points sont substitués au point unique (fig. 6.6 B), puis un segment aux deux points (fig. 6.6 C), et enfin un anneau au segment (fig. 6.6 D). Dans chaque cas, le dessin géométrique revêt un aspect plus familier si la mer (en grisé) occupe la moitié de la figure; on peut alors trouver des analogies entre les deux premiers schémas et des zones agricoles entourant des ports côtiers; entre le troisième et une zone entourant une voie ferrée de pénétration; entre le quatrième et des groupements de population entourant le littoral d'une mer intérieure.

Le cas, traité par Thünen, du développement en anneaux ne représente qu'un cas extrême, tiré d'un ensemble de problèmes dans lesquels des surfaces se groupent le plus près possible d'un point ou d'une ligne. Le développement en anneaux est discuté ci-après, parce qu'il est graphiquement simple et manifestement lié à la hiérarchie des villes, non parce qu'il serait le seul possible.

LA FORMATION D'ANNEAUX

Lorsqu'il s'agit de placer une surface d'utilisation du sol le plus près possible d'un seul point, une forme circulaire constitue, *ceteris paribus*, la solution de mouvement minimal; la distance radiale maximale, du centre de la surface à sa périphérie, est

donnée par l'expression $(A/\pi)^{\frac{1}{2}}$. Ce problème simple devient plus intéressant dans l'hypothèse de différentes catégories d'utilisation du sol.

TABLEAU 6.3

CALCUL DES « INPUTS » NETS DE MOUVEMENT

	Poids (en tonnes/km ²)	Coûts de mouvement (en unités monétaires par tonne)	Résistance au mouvement R_m	Surface nécessaire (en km ²)	Rayon maximal (en km) D	Inputs nets de mouvement Q
Utilisation du sol :						
— type <i>a</i>	3	1,0	3,0	100	5,64	16,9
— type <i>b</i>	2	0,5	1,0	200	8,01	8,0
— type <i>c</i>	1	2,0	2,0	300	9,76	19,5
— ensemble	—	—	—	600	13,82	—

Le tableau 6.3 présente un ensemble de données théoriques, qui illustre la solution de ce type de problème. On suppose l'existence de trois types d'activité; on imagine des quantités produites arbitraires (mesurées en tonnes par kilomètre carré) et des coûts de mouvements arbitraires (mesurés en unités monétaires par tonne); on peut ainsi faire des estimations de la résistance au mouvement (R_m). Les valeurs de R_m vont de 3 pour le type *a*, à 2 pour le type *c* et à 1 pour le type *b*. Les surfaces correspondant aux trois types étant supposées, respectivement, de 100, 200 et 300 km², on peut estimer la distance radiale maximale, mesurée à partir du centre (D) correspondant à chaque type, et, en la combinant avec la résistance, calculer les *inputs* de mouvement (Q). Sur les figures 6.7 A à 6.7 C, les *inputs* de mouvement correspondant aux trois types (en ordonnée) sont rapportés graphiquement à la distance par rapport au centre (en abscisse).

Chaque type ayant des besoins de surfaces déterminés, on ne peut pas superposer simplement ces besoins, comme le fait la figure 6.7 D. On peut cependant additionner ces besoins de surfaces et calculer la distance radiale maximale correspondant au total des surfaces nécessaires aux trois types, en utilisant la formule :

$$D_c = \left[\sum_{i=1}^n A_i / \pi \right]^{\frac{1}{2}}$$

dans laquelle A_i est la surface correspondant au type i ; le total des A_i est 600 km². En supposant que la surface soit de forme circulaire, la distance radiale maximale est de 13,82 km. Il reste à déterminer : 1° si les trois types d'utilisation du sol vont former des anneaux distincts autour du centre; 2° comment vont se ranger les zones. Avec les trois types, six dispositions (permutations) sont possibles : *abc*, *acb*, *bac*, *bca*, *cab*, *cba*. Avec n zones, le nombre de permutations est $n(!)$, de sorte qu'avec les sept zones de Thünen (tableau 6.4), il existe 5 040 permutations.

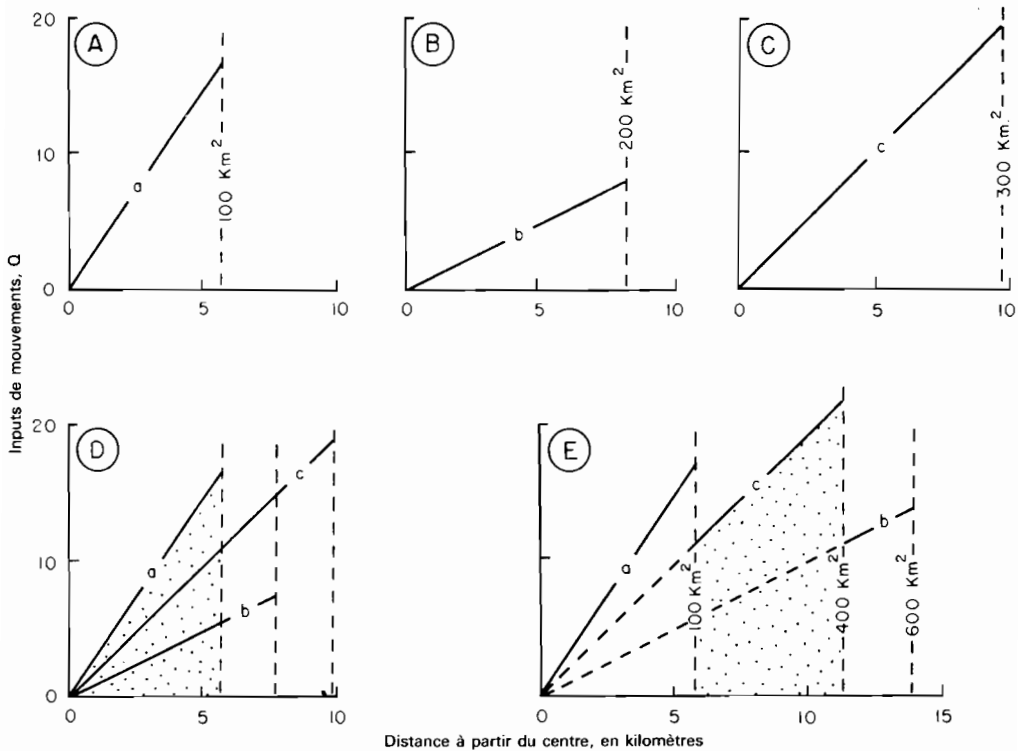


Fig. 6.7 — Étapes de l'analyse d'inputs de mouvement théoriques, correspondant à des types d'utilisation du sol.

Source : tableau 6.4.

L'examen de la figure 6.7 D montre que, dans la zone la plus proche du centre, qui mesure 100 km² (en grisé), les *inputs* de mouvement correspondant au type *a* sont plus grands que ceux qui correspondent aux deux autres types; dans la zone suivante, qui mesure 300 km² (en grisé sur la figure 6.7 E), les *inputs* de mouvement correspondant au type *c* sont plus grands que ceux qui correspondent au type *b*. Manifestement, c'est le type *a* qui a le plus besoin d'être placé près du centre, si les mouvements doivent être minimisés. Dans l'hypothèse d'un type homogène d'activité agricole, il n'y a pas lieu, à ce stade, de penser que la localisation d'une partie de ce type loin du centre présenterait des avantages : théoriquement, il devrait donc exister une zone homogène de type *a*, formant une surface circulaire de 100 km² et ramassée autour du centre. Des raisonnements semblables s'appliquent aux deux autres types; la disposition *acb* apparaît donc comme la plus logique des six possibles.

On peut facilement évaluer les avantages que la disposition *acb* possède sur les autres, en rapportant graphiquement les *inputs* de mouvement cumulés, *Q* (cum.),

à la distance (fig. 6.8 A). La ligne brisée concave obtenue pour *acb* est au-dessous de celle obtenue pour n'importe laquelle des cinq autres dispositions, l'intervalle entre la courbe *acb* et la courbe de la disposition la plus coûteuse (*bca*) est représenté par la surface en grisé de la figure 6.8 A. La structure en anneaux des deux dispositions est représentée sur la figure 6.8 B.

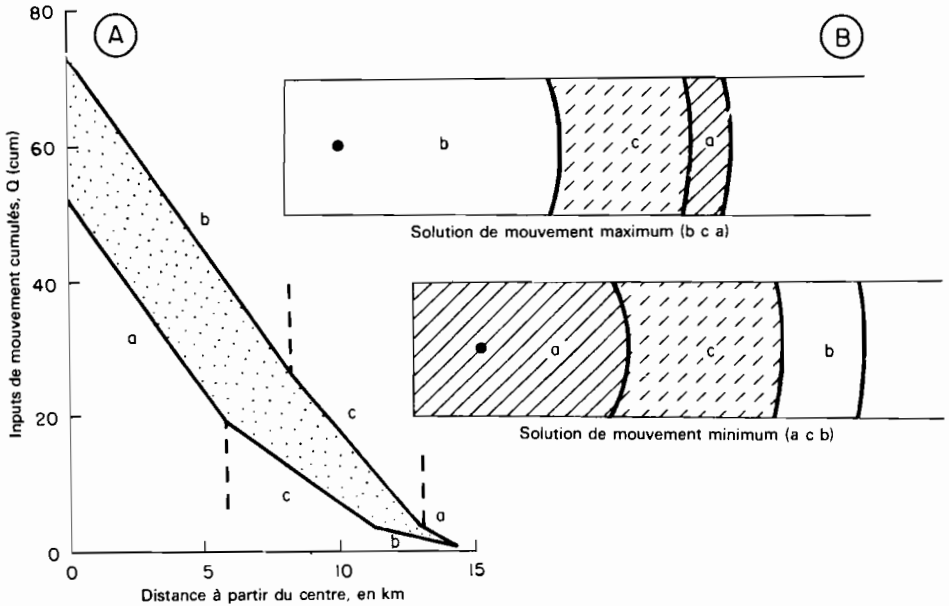


Fig. 6.8 — Effet des *inputs* de mouvement sur la disposition des anneaux d'utilisation du sol.

Les concepts employés ici sont analogues à ceux de Thünen. On peut mettre en regard les *inputs* de mouvement et son concept de rente de situation (*Bodenrente*) qu'il calculait à l'aide de l'expression :

$$L = E(p - a) - Efk.$$

Dans cette formule, L (variable dépendante) est la rente de situation par unité de surface de sol, k (variable indépendante) est la distance, et E , p et a sont des constantes : E le rendement par unité de surface, p le prix du marché par unité de produit, a le coût de production par unité de produit; f est le tarif de transport par unité de distance (Dunn, 1954, p. 7). Le concept d'*input* de mouvement employé ici est peut-être plus simple, en ce sens qu'il dispense de considérer explicitement les constantes p (prix du marché) et a (coût de production) et leur substitue des hypothèses sur la demande de produits en termes de surfaces (A).

L'ÉTAT ISOLÉ DE THÜNEN

Les schémas d'anneaux concentriques d'utilisation du sol caractéristiques de l'État isolé théorique de Thünen sont du nombre de ceux qu'on trouve le plus couramment, dans les manuels, pour illustrer la théorie de la localisation. Les caractéristiques principales des zones définies par Thünen ont été résumées par Grotewald (1959) et par Chisholm (1962, pp. 21-35); elles sont reproduites dans le tableau 6.4; le plan d'utilisation du sol est formé d'enveloppes concentriques successives : d'abord, à l'intérieur, des anneaux très étroits d'agriculture intensive (1) et de forêt (2); puis une large bande d'agriculture de plus en plus extensive (3) et d'élevage (4); enfin, au-delà, des terrains non exploités (5).

TABLEAU 6.4

« DER ISOLIERTE STAAT » (1826) : LES ANNEAUX D'UTILISATION DU SOL DE THÜNEN

Zone	Surface : % de la surface de l'État	Distance par rapport à la ville-centre	Type d'utilisation du sol	Principal produit commercialisé	Système de production
0	0,1	< 0,1	Industrie urbaine	Produits manufacturés	Centre de commerce urbain de l'État; proche de mines de fer et de charbon
1	1	0,1 – 0,6	Agriculture intensive	Lait, légumes	Production de lait intensive; cultures maraîchères; fumure intensive; pas de jachère.
2	3	0,6 – 3,5	Forêt	Bois de feu et de construction	Sylviculture à forts rendements.
3 a	3	3,6 – 4,6	Agriculture extensive	Seigle	Rotation sur 6 ans : seigle (2), pommes de terre (1), trèfle (1), orge (1), vesces (1); pas de jachère; stabulation hivernale.
3 b	30	4,7 – 34		Pommes de terre	Rotation sur 7 ans : pâturage (3), seigle (1), orge (1), avoine (1), jachère (1)
3 c	25	34 – 44		Seigle	Système d'assolement triennal : seigle, etc. (1), pâturage (1), jachère (1).
4	38	45 – 100	Élevage	Produits de l'élevage	Élevage prédominant; un peu de seigle consommé sur place.
5	—	> 100	Terrains non exploités	Néant	Néant.

Cette conception était remarquable pour son époque, mais il faut rappeler ses limites, relativement contradictoires : le caractère simplificateur des postulats d'une part, le caractère très empirique du contenu d'autre part.

1° Les postulats de Thünen peuvent être résumés en six points : 1° Il existe un « État isolé » coupé du reste du monde et entouré de tous côtés par des déserts. 2° Cet État est dominé par une seule grande ville, qui est le seul marché urbain. 3° La ville est située au centre d'une vaste plaine privée de toute particularité, où la fertilité du sol et les conditions de circulation sont supposées homogènes de sorte que les coûts de production et de transport sont supposés les mêmes partout. 4° La ville est approvisionnée par les agriculteurs, qui lui expédient des denrées agricoles, en échange de produits de l'industrie. 5° Les produits agricoles sont transportés par l'agriculteur lui-même, qui apporte sa propre production au marché en utilisant un réseau dense de routes convergentes d'égale qualité; les coûts de transports sont exactement proportionnels à la distance. 6° Le profit est maximisé par tous les agriculteurs, par ajustement automatique des cultures aux besoins du marché central.

Lösch (1954, pp. 38-48) a fait remarquer que, même si ces hypothèses simplificatrices sont réalisées, la formation d'anneaux n'est pas inévitable. Il a démontré que, étant donné deux cultures i et j , il existe dix-sept combinaisons possibles dans lesquelles ou bien l'une des deux cultures l'emporte sur l'autre, ou bien toutes deux sont pratiquées côte à côte, et seulement dix combinaisons dans lesquelles des anneaux se forment. Pour que des anneaux se réalisent, dans l'ordre ij , autour du centre, il faut que soient remplies les conditions exprimées par la formule :

$$1 < \{ [E(p - a)_i] / [E(p - a)_j] \} < [E_i / E_j]$$

où E , p et a sont définis comme dans la formule de Dunn indiquée ci-dessus (p. 186).

2° Le contenu, très empirique, de la théorie de Thünen ne peut être compris que par référence à son arrière-plan. Johnson (1962) a décrit les premières années de la vie de Thünen, et dit leur influence sur ses idées en matière de localisation. En 1810, Johann Heinrich von Thünen, alors âgé de vingt-sept ans, acquiert son propre domaine agricole, Tellow, près de la ville de Rostock, dans le Mecklembourg, sur la côte allemande de la Baltique. Pendant les quarante années qui suivent, jusqu'à sa mort en 1850, Thünen exploite ce domaine et, sans trêve, rassemble minutieusement une masse de données sur les coûts et les revenus de ses opérations. Son livre s'inspire largement de son expérience de la gestion et de la comptabilité de son domaine; une grande partie de ses postulats, et toutes les constantes empiriques qu'il a employées, se réfèrent à cette expérience strictement localisée.

Une grande partie de ce qui était nécessaire, dans le Mecklembourg du XIX^e siècle, semble maintenant étrange ou désuet. Manifestement, la modification la plus sérieuse de la demande affecte la localisation de la deuxième zone de Thünen, celle qui produit du bois d'œuvre et de chauffage (tableau 6.4); ce type d'utilisation du sol ne peut plus exiger des sites très accessibles, proches des grands centres, dans les pays occidentaux. Dans les pays tropicaux humides, cependant, la forêt soumise à une rotation, fournissant du bois de chauffage et du charbon de bois, peut encore se trouver à peu près dans la position indiquée par Thünen; Waibel (1958) a attiré l'attention sur l'existence de cette répartition dans le Sud-Est du Brésil. Même dans des régions très urbanisées, la demande de zones boisées destinées aux loisirs peut entraîner

leur persistance en des zones très accessibles. Gottmann (1961) a donné des exemples de cette tendance, liée à la demande croissante de loisirs observable dans les zones côtières très urbanisées de l'Est des États-Unis.

Critique des modèles de mouvement

L'ÉVOLUTION DES COÛTS DE MOUVEMENT

Bien qu'il soit difficile de faire des comparaisons directes, on peut affirmer que la tendance à long terme des coûts réels de transport a été à la baisse. Une suite d'inventions techniques, l'adoption de carburants peu coûteux, et les économies d'échelle obtenues grâce à l'augmentation constante des quantités mises en circulation, ont, d'une façon générale, réduit la part des frais de transport dans l'ensemble des coûts de production. Chisholm (1962, pp. 185-186) a suivi l'évolution des tarifs d'un moyen de transport, la navigation maritime, et constaté que, déduction faite de l'inflation universelle, le coût réel de la navigation maritime, entre 1876 et 1955, a diminué des trois cinquièmes environ.

A mesure que le niveau général des coûts de transport s'abaisse, la mobilité relative des produits s'accroît, et on pourrait s'attendre à constater un élargissement des anneaux de Thünen. Lösch (1954, p. 51) a fait remarquer que, par suite de la croissance d'un certain nombre de centres proches l'un de l'autre, les anneaux qui entourent chaque centre doivent subir une distorsion vers l'extérieur. Il peut tout simplement ne pas y avoir assez de place pour tous les anneaux, et les anneaux extérieurs peuvent alors être déplacés vers la périphérie de l'État. Pour les anneaux intérieurs, chaque ville reste donc le marché central, mais, pour les anneaux extérieurs, c'est l'agrégat de villes qui, conjointement, constitue le centre (fig. 6.9 A). Ce point a été mis en lumière par Jonasson, qui considère le Nord-Ouest de l'Europe

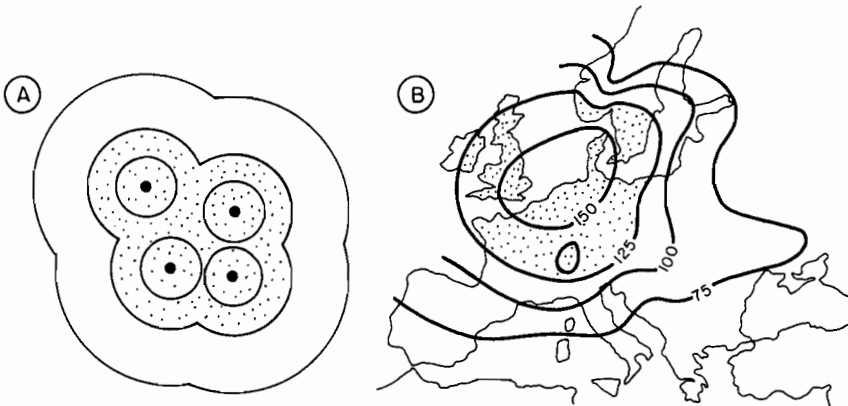


Fig. 6.9 — A. Fusion de structures en anneaux autour d'un groupement de centres. — B. Lignes d'égale intensité de l'agriculture en Europe ($G = 1,8$).

Source : VALKENBURG et HELD, 1952, p. 102.

comme « une seule vaste conurbation ... un seul centre géographique » (Jonasson, 1925, p. 290). Des cartes représentant le rendement moyen de huit cultures font apparaître une remarquable liaison entre la diminution des rendements et l'augmentation de la distance par rapport à cet agrégat (fig. 6.9 B).

Évidemment, ce mouvement ne s'arrête pas à la limite d'un État, encore moins sur le rivage d'un continent. Backe (1942) a montré qu'on peut interpréter selon les conceptions de Thünen le déplacement des systèmes d'utilisation du sol de faible rapport vers la périphérie de l'Europe, observable depuis 1850 environ (il s'agit notamment de l'élevage des moutons et de la culture du blé). A cette échelle, l'échelle internationale, les mouvements de marchandises font évidemment partie de ce continuum d'interactions dont il a été question au chapitre 2 (section 1); Ohlin (1933), dans son étude classique sur le commerce, *Interregional and International Trade*, place ces mouvements dans le cadre général de la théorie de la localisation. A cette échelle, il apparaîtrait alors que la réduction des coûts de transport a eu pour effet de modifier l'échelle des anneaux de Thünen plutôt que d'altérer la valeur propre du concept.

A l'autre extrémité de l'échelle, au niveau du champ et de la ferme, ou de la ferme et du village, l'observation empirique donne à penser que l'effet d'anneau persiste (Chisholm, 1962, pp. 47-75, 124-153). Ici, le mouvement continue à être mesuré en termes de temps, en journées de travail, plutôt que d'après les coûts de transport, de sorte que, le coût de la main-d'œuvre augmentant, on pourrait penser que les coûts de mouvement prennent relativement plus d'importance, à moins qu'une compensation ne soit apportée par des améliorations plus rapides des transports intérieurs (tracteurs, jeeps, etc.).

LES MODIFICATIONS DES RELATIONS ENTRE LA DISTANCE ET LE MOUVEMENT

En étudiant les *inputs* de mouvement, on a supposé que la liaison entre le coût du mouvement et la distance était linéaire. En réalité, on sait que les coûts de mouvement sont en général : 1^o de forme curviligne (convexe); 2^o en paliers successifs plutôt que continus; 3^o différenciés, selon la marchandise, la quantité, la distance, la direction, l'expéditeur, la saison, et selon des variables particulières connexes (Troxel, 1955). Discuter en détail ce problème très complexe est hors de notre propos, mais il est intéressant de faire apparaître la forme générale de la liaison entre les coûts et la distance. A propos de Milwaukee (α sur la figure 6.10 B), Alexander (1963, p. 475) a montré la forme « en paliers » de la courbe des tarifs de transport par voie ferrée (fig. 6.10 A) et la distorsion de la surface de coûts, qui s'élève inégalement, selon les directions, à partir de la ville (fig. 6.10 B).

L'existence de différences entre coûts de transport, selon la nature des marchandises, a été décrite dans un article plus ancien d'Alexander sur l'Illinois (1944), où il a comparé le schéma de répartition des tarifs de transport par voie ferrée applicables aux céréales expédiées à Chicago (β sur les figures 6.10 C et D) à celui des tarifs applicables au bétail pour la même destination (fig. 6.10 D). Sur les deux cartes, les intervalles entre les isarithmes correspondent à deux cents pour 100 livres; les surfaces

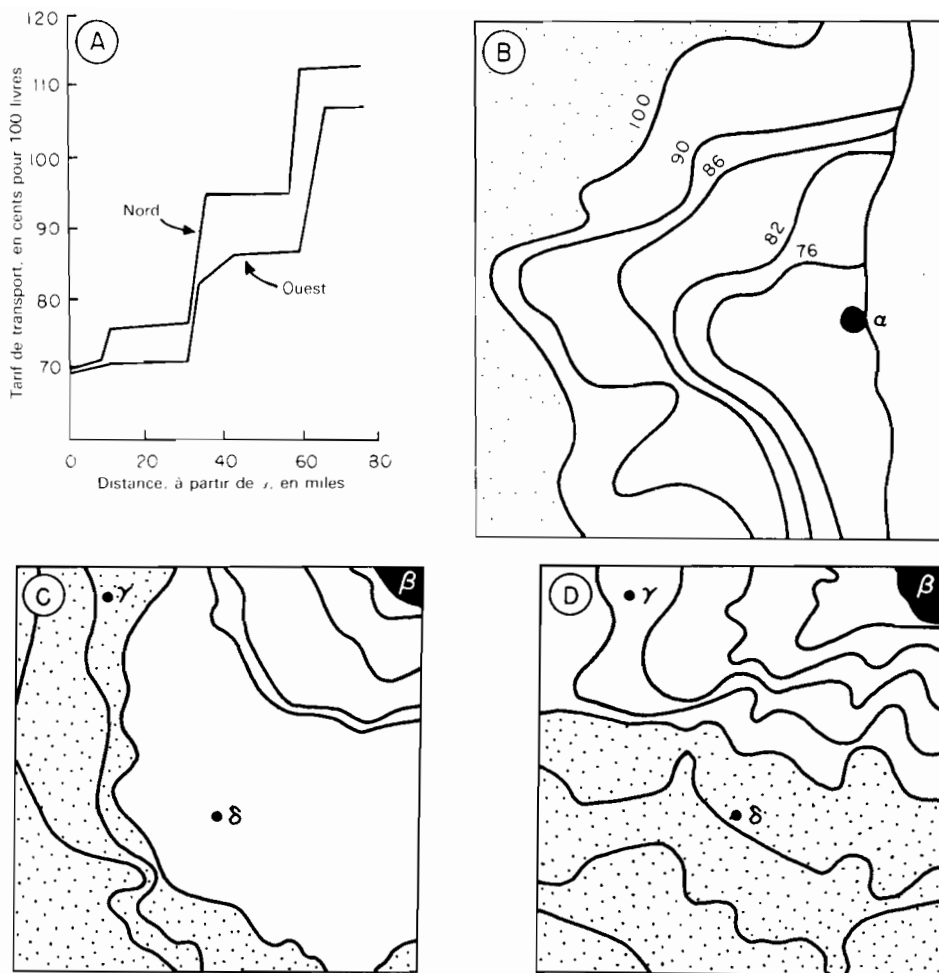


Fig. 6.10 — Variations, selon les directions, des coûts de transport par chemin de fer dans des carrés échantillons. A-B : à l'ouest de Milwaukee, États-Unis ($G = 4,3$). — C-D : au sud-ouest de Chicago, États-Unis ($G = 3,9$).

Sources : ALEXANDER, BROWN et DAHLBERG, 1958, p. 9; ALEXANDER, 1944, pp. 26-28.

où les tarifs dépassent treize cents sur la figure 6.10 C ou dix-huit cents sur la figure 6.10 D sont en grisé, de façon à faire ressortir les zones de coût élevé. En comparant les localisations de deux points, γ et δ , situés à l'ouest et au sud-ouest de Chicago, on constate que, bien que tous deux soient à la même distance de la ville (environ 110 miles), le premier possède un avantage de localisation bien marqué en ce qui concerne la production de bétail, le second en ce qui concerne la production de céréales.

Ces exemples mettent en relief le changement radical qui s'est produit par rapport à l'image idyllique de l'État de Thünen, où chaque agriculteur, avec son cheval et sa voiture, apportait au marché sa propre production, et avait donc un intérêt direct à minimiser ses déplacements personnels. Le passage des transports aux mains de compagnies indépendantes a sapé la logique du postulat de minimisation, car on peut soutenir que, *ceteris paribus*, l'objectif d'une compagnie de transport est la maximisation du mouvement total, plutôt que sa minimisation. Troxel (1955) a étudié quelques-unes des entraves qui sont opposées à cette incitation à la maximisation, tant par la concurrence que par les pouvoirs publics. Néanmoins, le fait que les transports ne soient plus aux mains des producteurs a une signification : l'économie de l'ensemble du système de transport l'emporte sur celle du producteur individuel et devient l'économie dominante.

3. LES DISTORSIONS DE GRADIENTS RÉGULIERS

Les distorsions dues à la localisation des ressources

LA VARIABILITÉ DES RESSOURCES

Praticien de l'exploitation du sol, Thünen savait que le plan d'utilisation du sol est modifié non seulement par les coûts de transport, mais aussi par l'existence de

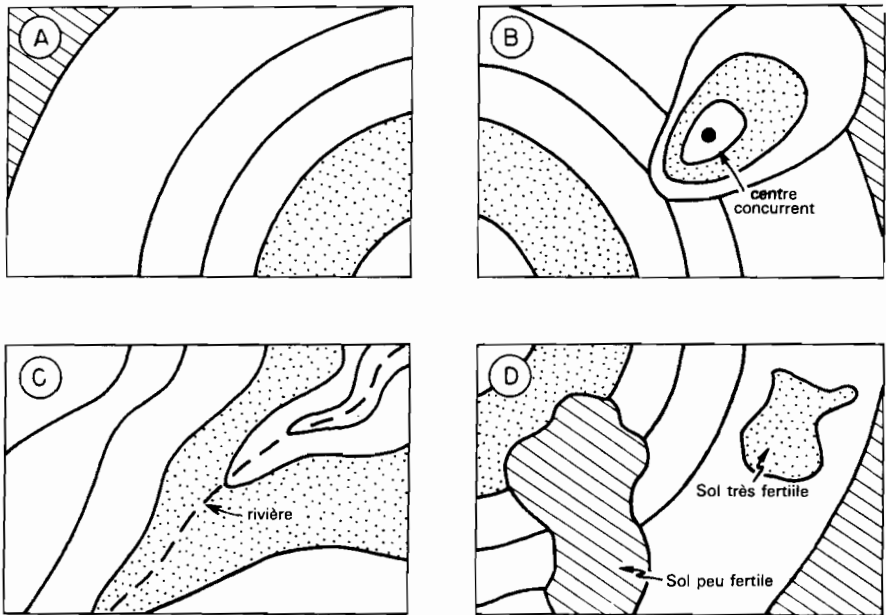


Fig. 6.11 — Distorsion de la structure en anneaux régulière du paysage de Thünen (A) : par un deuxième centre, concurrent (B); par des itinéraires de transport (C); par la présence de surfaces plus ou moins productives (D).

sols plus ou moins bons, par les vicissitudes du climat, par l'aptitude de l'exploitant à la gestion, etc. Il a donc présenté un schéma modifié, dans lequel les anneaux primitifs (fig. 6.11 A) sont déformés non seulement par la présence de centres concurrents (fig. 6.11 B) et de voies de communication permettant des transports moins coûteux (fig. 6.11 C), mais aussi par l'existence de qualités différentes de sols (fig. 6.11 D).

La confirmation empirique de l'étroitesse des relations entre les ressources naturelles et l'agriculture a été fournie par Hidore (1963); il a étudié la liaison entre les « terrains plats » (dont la pente est inférieure à 3 %) et la culture commerciale des céréales (fig. 6.12). Pour un échantillon de 730 comtés du Centre-Nord des États-

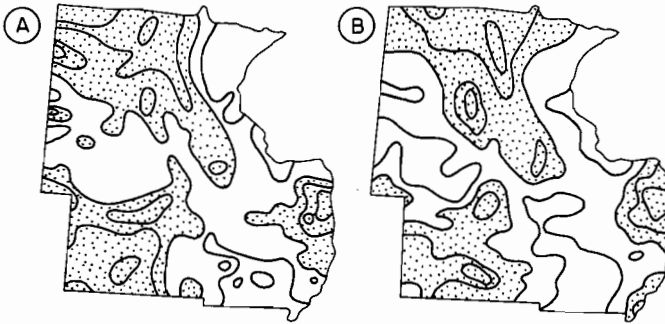


Fig. 6.12 — Liaison entre les sols horizontaux (A) et les sols cultivés (B) dans le Centre-Nord des États-Unis ($G = 2,7$).

Source : HIDORE, 1963, pp. 85, 87.

Unis, il obtient ainsi un coefficient de corrélation, statistiquement significatif, égal à $+0,652$; pour un État, l'Illinois, ce coefficient s'élève à $+0,690$. Le seul État présentant une déviation importante est le Minnesota, où le pourcentage de terrains plats est élevé, mais où les sols, formés sur le bord méridional du bouclier laurentien, sont médiocres.

Ce type d'étude s'inscrit dans une tradition ancienne d'études écologiques, qui ont constitué une part très importante des publications géographiques (*cf.* p. 22). A l'échelle mondiale tout au moins, les facteurs bioclimatiques ont joué un rôle majeur dans la mise en place des groupements de population (tableau 6.5), ce qui a conduit les géographes à se consacrer trop exclusivement à ce thème. En effet, si les contrastes zonaux de densité sont bien marqués, la comparaison entre les zones qui se correspondent au nord et au sud de l'équateur (tableau 6.5) donne néanmoins à penser que le schéma de répartition simple lié aux conditions naturelles a été fortement déformé à la fois par la localisation des points d'origine de l'agriculture (Sauer, 1952) et par la diffusion du peuplement qui en a résulté. Toutefois, il faut reconnaître l'ampleur de la variabilité des ressources, et son influence, directe et indirecte, sur les systèmes régionaux, à tous les niveaux d'organisation, de la ferme à la région urbaine. Étant donné le développement de la mécanisation et la facilité croissante

TABLEAU 6.5

DISTRIBUTION DES DENSITÉS DE POPULATION PAR ZONES BIOCLIMATIQUES
(1940)

Zones bioclimatiques	Habitants (en millions)	Surface (en millions de km ²)	Densité (hab./km ²)
Zone polaire boréale	0,2	5,2	0,04
Zone tempérée boréale	850	50,2	16,8
Zone subtropicale boréale	555	11,8	47,0
Zone tropicale	726	47,7	15,2
Zone subtropicale australe	42	14,4	2,9
Zone tempérée australe	3	1,5	2,0
Zone polaire australe	—	16,0	—

Source : M. VAHL et J. HUMLUM, in *Acta Jutlandica Aarsskrift for Aarhus Universitet*, 1949, pp. 59-65.

des transports, il y a même quelques raisons de croire, avec Baker (1921), que les différences latentes de conditions physiques pourraient jouer un rôle de plus en plus important dans la détermination de l'utilisation du sol. Les ouvrages d'Alexander (1963) et de Dickinson (1964) contiennent d'excellentes analyses de l'influence des milieux naturels sur les principales branches de l'activité économique et sur l'organisation urbaine.

LES SUBSTITUTIONS D' « INPUTS » DE RESSOURCES

Comme en ce qui concerne les industries (chap. 5, section 4), des substitutions modifient toutes les relations simples entre la localisation des ressources et celle des zones agricoles. Gottmann (1961, p. 286) a présenté un cas intéressant de substitution concernant la production de lait, aux États-Unis. Il compare deux importantes régions d'élevage laitier, la zone de la côte atlantique, proche du marché de Boston-New York-Washington, et la zone du Wisconsin et du Minnesota, située dans le Centre des États-Unis. Dans le langage de Thünen, la première zone se situerait dans l'anneau intérieur intensif et la seconde dans l'anneau extérieur extensif. Dans les deux régions, les unités d'exploitation ont à peu près la même taille (150 acres), et le rendement par animal est à peu près le même; mais des contrastes frappants s'observent, pour presque tous les autres *inputs*, en faveur de la zone de la côte atlantique. Le nombre d'animaux par acre et les investissements en matériel mécanique y sont plus élevés de 40 %; l'avantage est de 60 % en ce qui concerne les recettes par unité de lait produite (*output*) et de 80 % pour les investissements en terres et en bâtiments. Du point de vue de l'utilisation du sol, les contrastes sont un peu moins accusés; dans la zone intérieure, on cultive davantage de foin (+30 %) et moins de céréales fourragères.

Le contraste entre les *outputs* des deux régions se ramène en partie à l'opposition

entre les recettes tirées du lait frais et celles tirées du lait transformé (beurre, fromage, etc.). Un certain nombre d'études, tant aux États-Unis qu'en Grande-Bretagne, ont attiré l'attention sur la localisation caractéristique de zones de production de lait, de beurre et de fromage qui se succèdent dans l'espace à partir du marché industrialo-urbain (Chisholm, 1962).

Thünen a lui-même employé la notion de substitution dans l'analyse de la répartition d'une culture, le seigle. Le tableau 6.4 indique que le seigle est cultivé dans toute la zone agricole extérieure (3-4) mais qu'il n'est expédié au marché qu'à partir de la zone 3. Les expéditions de seigle vers la ville-marché se font donc sur des distances qui varient beaucoup, de 3,6 à 44 miles. En dépit d'un prix du seigle unique et de coûts de transport par tonne uniformes, le seigle de la zone extérieure (3 c) peut concurrencer avec succès le seigle cultivé à une distance du marché à peu près dix fois moindre, dans la zone intérieure (3 a).

Thünen montre que la zone extérieure ne peut concurrencer la zone intérieure qu'en substituant au système de celle-ci un système d'exploitation (*Betriebssystem*) moins efficace : la zone extérieure ne peut soutenir la concurrence que parce que les coûts de production du seigle y sont moindres, ceci au prix du gaspillage que représente un système dans lequel un tiers du sol est en jachère chaque année. En effet, en comparant les systèmes de rotation des zones 3 a, 3 b et 3 c, on constate que la proportion de sol en jachère augmente, passant de zéro à un septième puis à un tiers, en même temps que la distance par rapport au marché (voir le tableau 6.4).

La zone intérieure reste la plus efficace, du point de vue de sa production globale, car, ainsi que Lösch l'a souligné : « c'est le total des profits qui compte; il n'existe pas d'autre critère, fondé sur une seule culture » (Lösch, 1954, p. 61). Comme à propos de l'industrie du zinc (*cf.* pp. 162, 171-172), il faut conclure que le seigle est cultivé en des localisations variées où des substitutions de ressources locales rendent profitable son introduction dans le système cultural.

Gould (1963) a abordé le problème de l'association des cultures en une combinaison appropriée à une localisation donnée, en utilisant *la théorie des jeux*. Il a choisi Jantilla, petit village de l'Ouest du Ghana, comme exemple caractéristique du problème des associations culturales dans le centre du pays, c'est-à-dire dans une zone à pluviosité très variable. Dans ce cas, la « stratégie du milieu naturel » (pour employer le langage de la théorie des jeux) dispose de deux tactiques : humidité ou sécheresse. En face, la « stratégie des villageois » comporte cinq tactiques, susceptibles d'être associées : ce sont leurs cinq cultures de base. Mais le rendement varie dans des proportions considérables, selon ce qui est cultivé et selon les vicissitudes du climat (tableau 6.6). Par exemple, l'igname est une culture spéculative, dont le rendement est élevé quand l'année est pluvieuse, mais très bas (huit fois moindre) quand l'année est sèche. Au contraire, le mil est une culture sur laquelle on peut compter : son rendement diffère très peu entre une année sèche et une année pluvieuse. Le dilemme devant lequel sont placés les villageois apparaît : doivent-ils tableer sur un temps pluvieux et cultiver des plantes à fort rendement (mais en courant des risques), ou jouer la carte de la sécurité en cultivant des plantes à rendement modéré, ou adopter une stratégie mixte?

TABLEAU 6.6

RENDEMENT DES CULTURES CORRESPONDANT
AUX DIVERSES « STRATÉGIES » DU MILIEU NATUREL¹

Rendement des cultures, par unité de surface	Stratégies du milieu naturel	
	Année humide	Année sèche
Igname	82	11
Mais	61	49
Manioc	12	38
Mil	43	32
Riz de montagne	30	71

1. Jantilla, au centre du Ghana.

Source : P. R. GOULD, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1963, p. 292.

Pour ce cas où les hypothèses sont simples (2×5 tactiques), Gould montre comment calculer la solution optimale. Sur la figure 6.13, le rendement de chaque culture est porté sur deux axes verticaux distincts, dont l'un correspond à l'année sèche, l'autre à l'année pluvieuse; les deux points ainsi obtenus sont joints par un segment

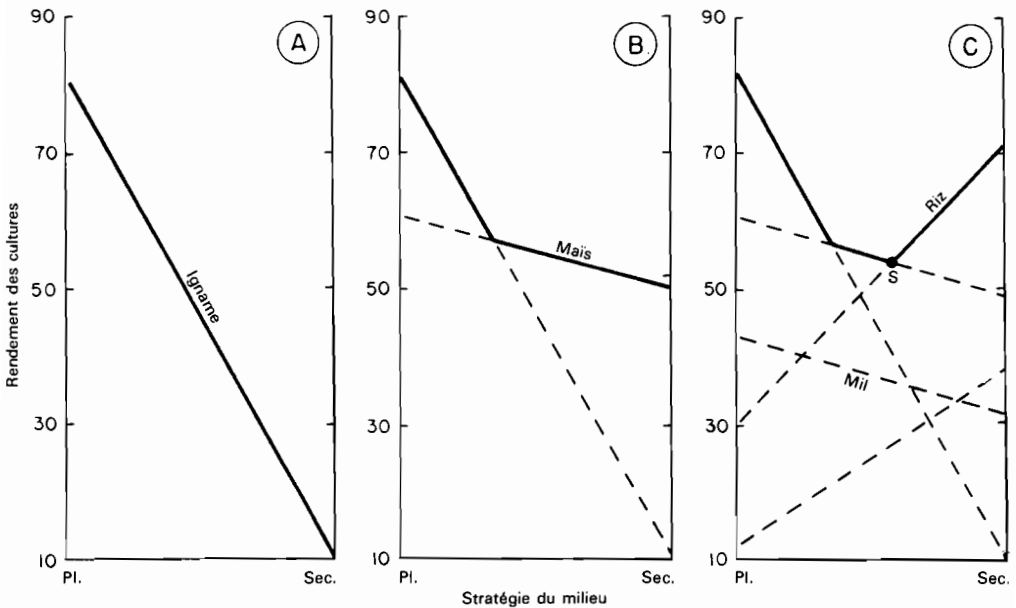


Fig. 6.13 — Stades de la détermination de la meilleure association culturale, pour un village du Ghana, selon la théorie des jeux.

Source : GOULD, 1963, p. 292.

de droite. Plus est forte la pente de ce segment, plus grande est la différence de rendement entre les deux types d'années, et vice versa. La figure 6.13 A représente le segment correspondant à la première culture, l'igname. Sur la figure 6.13 B est ajouté le segment correspondant à la deuxième culture, le maïs; sur la figure 6.13 C sont ajoutés les segments correspondant aux trois autres cultures. En se coupant, les segments font apparaître les rendements les plus élevés — ceux de l'igname, du maïs et du riz de montagne — sous la forme d'une ligne brisée concave (fig. 6.13 C). Le point le plus bas de cette ligne (point d'équilibre, ou col), *S*, représente la combinaison optimale de cultures, c'est-à-dire celle qui donnera en moyenne le plus haut rapport, pour une série d'années bonnes et mauvaises. C'est, dans le langage de la théorie des jeux, la solution *minimax*.

Le calcul de la part de chaque culture dans la solution minimax est indiqué sur le tableau 6.7. On calcule, pour les deux cultures, la différence de rendement entre année sèche et année pluvieuse (12 et 41). On retranche l'un de l'autre les deux résultats, ce qui donne la différence comparative (12 — 41). Puis, pour chaque culture, on divise la différence observée pour l'autre culture par la différence comparative, ce qui donne les indices (différences proportionnelles : 1,4 et 0,4) qui représentent la part de chaque culture, et à partir desquels on peut calculer les pourcentages.

TABLEAU 6.7

CALCUL DE LA CONTRE-STRATÉGIE OPTIMALE ¹

	Cultures possibles	
	Maïs	Riz de montagne
Rendements correspondant aux deux tactiques de la stratégie du milieu naturel :		
— année pluvieuse	61	30
— année sèche	49	71
Différence de rendement	12	41
Différence proportionnelle	$\left \frac{41}{12 - 41} \right = 1,4$	$\left \frac{12}{12 - 41} \right = 0,4$
Contre-stratégie optimale	77 %	23 %

1. Jantilla, au centre du Ghana.

Source : *Ibid.* p. 293.

Le rapport obtenu, 77 contre 23, pourrait être interprété à long terme de la façon suivante : il faut cultiver tout le territoire du village en maïs pendant 77 années par siècle, et en riz de montagne pendant les 23 autres années! En fait, on adopterait évidemment la solution à court terme : cultiver chaque année du maïs sur les trois quarts de la surface, et du riz sur un quart. Gould constate que les proportions calculées selon cette méthode concordent *grosso modo* avec l'organisation réelle de l'utilisation du sol dans la région de Jantilla; ceci incite à penser que les habitants sont

parvenus à cette solution en suivant le sentier épineux des essais et des erreurs. Puisque, dans ce cas, il faut traduire « erreurs », du point de vue humain, par « famine », l'importance pratique de la théorie des jeux, pour aborder les problèmes de substitution, est manifeste. Vajda (1961) a écrit une intéressante introduction à ce type d'analyse; les problèmes plus compliqués exigent le recours à un ordinateur.

Les distorsions dues à la concentration

Si les économies d'échelle n'ont pas encore affecté l'agriculture autant que l'industrie (chap. 5, section 3), des signes montrent cependant, tout au moins dans les pays occidentaux, qu'elles prennent progressivement une grande importance. Si cette tendance persiste, les théories de la localisation concernant l'agriculture et l'industrie vont vraisemblablement s'unifier, à mesure que l'agriculture, imitant l'industrie, adoptera une structure associant des *inputs* élevés à une superficie cultivée réduite. Les élevages industriels de poulets illustrent cette convergence croissante de l'industrie et de l'agriculture.

Des différences d'intensité de l'utilisation du sol, entre exploitations de tailles différentes, sont déjà visibles. Mead (1953), décrivant l'agriculture finlandaise, constate que deux faits importants sont en corrélation avec l'accroissement de la taille des exploitations : la diminution de la surface totale cultivée et la tendance à la spécialisation dans les « cultures d'exportation ». Une enquête sur les exploitations agricoles, faite dans la région d'Helsinki en 1944, a montré qu'environ un tiers de la surface était cultivé dans les petites exploitations familiales (celles de moins de 36 hectares) contre un quart seulement dans les exploitations de plus de 250 hectares. Le reste de la surface de l'exploitation était généralement boisé. A propos de la seconde corrélation, Mead montre que dans les petites exploitations une forte proportion des céréales panifiables est consommée à la ferme (90 % dans les exploitations de moins de 10 hectares), mais que cette proportion diminue rapidement en raison inverse de la taille : dans les exploitations de plus de 50 hectares, elle tombe à 5 % environ. Dans les régions tropicales, la liaison entre grande unité de production et spécialisation dans les cultures d'exportation est un fait bien établi. A propos de Ceylan, Farmer (1957) a décrit l'« économie dualiste » composée d'un secteur de plantations et d'un secteur traditionnel. Waibel (1958) a proposé une dichotomie semblable à propos du Brésil.

Les économies d'échelle peuvent être équilibrées par des avantages de situation. Assez proche de la notion d'« agrégats » industriels (Florence, 1953) est l'augmentation du nombre des producteurs agricoles spécialisés qui réalisent des économies en organisant en commun la commercialisation de leurs produits. La Californie constitue un exemple classique : cette région, nettement favorisée par le climat, s'est installée au premier rang des fournisseurs d'agrumes du Nord-Est des États-Unis. L'importance des expéditions et la normalisation des produits lui ont permis d'obtenir des compagnies ferroviaires des tarifs avantageux; ainsi la Californie a pu vendre moins cher que des régions plus proches du marché, mais produisant moins,

comme la Floride. L'avènement des transports routiers a permis un retour offensif de la Floride sur le marché : ce mode de transport réduit l'importance des économies d'échelle (Chisholm, 1962, p. 191).

Dans les pays occidentaux, la normalisation de la commercialisation des produits progresse; elle devrait permettre l'apparition de nouvelles concentrations de type californien. Certaines des curieuses concentrations qui se sont produites dans l'agriculture anglaise — comme celle de la culture de la rhubarbe dans le district occidental du Yorkshire — peuvent s'expliquer aussi bien par des concentrations autour de noyaux nés du hasard que par les particularités du milieu naturel.

Les distorsions dues à l'évolution dans le temps

L'ÉVOLUTION DES PENTES

Le débat sur la nature des gradients de densité de population observables autour et à l'intérieur des villes s'est étendu aux modes d'évolution de ces gradients dans le temps. Clark (1951) a fait, sur l'évolution progressive des taux de décroissance de la densité autour des villes, des études d'où l'on peut tirer deux idées générales importantes. D'une part : la croissance des villes s'accompagne d'une décroissance persistante du gradient de densité, d'une tendance au « desserrement ». La figure 6.14 A reproduit les résultats que Clark a obtenus à propos de Londres, pour la période allant de 1801 à 1941; les résultats sont semblables en ce qui concerne Paris, Berlin, Chicago, New York et Brisbane. D'autre part : la densité des secteurs centraux augmente d'abord, diminue ensuite. La figure 6.14 B illustre cette tendance par l'exemple de Cleveland (Ohio, États-Unis) tiré d'une étude de MacKenzie (1933; Clawson *et al.*, 1960, p. 504); elle montre : 1° l'augmentation continue de la population totale de Cleveland (courbe en tireté) qui est passée d'un peu moins de 2 000 habitants en 1830 à près d'un million vers 1930; 2° l'expansion continue des limites de la ville, parallèle à son extension du centre vers la périphérie; 3° la succession caractéristique d'une augmentation et d'une diminution de la population dans la partie centrale de la ville : à l'intérieur des limites définies en 1830, la population de Cleveland atteint son maximum vers 1870, puis décline et, vers 1930, son effectif est à peu près le même qu'un siècle plus tôt.

Berry (Berry *et al.*, 1963) a confirmé les résultats obtenus par Clark, en ce qui concerne les villes des pays occidentaux; mais, selon lui, il est possible que ces résultats ne soient pas applicables aux villes des autres pays. L'étude sur l'évolution de Calcutta de 1881 à 1951 semble prouver que le gradient de densité y est resté plus ou moins constant (c'est-à-dire qu'il n'y a eu aucune tendance au « desserrement ») et que la densité n'a cessé d'augmenter dans le centre. Cette absence de formation de banlieues et cette continuité de l'entassement dans la ville peuvent correspondre à des différences temporaires (niveaux de vie, moyens de transport) ou à des différences de morphologie urbaine d'un caractère plus permanent. Ces traits ne sont pas particuliers à Calcutta, mais communs aux villes d'Asie du Sud-Est en général. Berry a

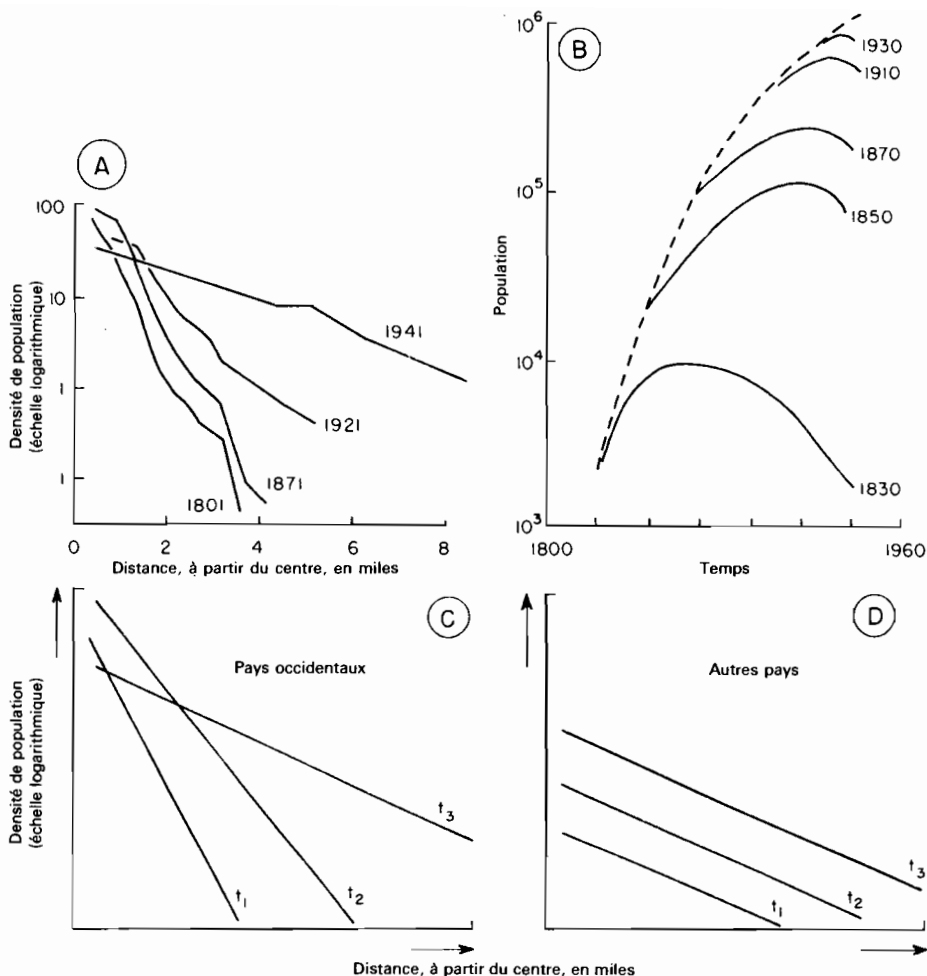


Fig. 6.14 — A. Liaisons entre la distance et la densité : cas de Londres, de 1801 à 1941. — B. Évolution de la population de Cleveland, États-Unis. — C, D. Comparaisons, dans le temps, entre villes des pays occidentaux et villes des autres pays.

Sources : BERRY et al., 1963, pp. 400, 403; MACKENZIE, 1933.

essayé de définir des règles générales concernant l'évolution des gradients liée à la croissance urbaine (périodes t_1, t_2, \dots, t_n), pour les pays occidentaux (fig. 6.14 C) et pour les autres pays (fig. 6.14 D).

L'ÉVOLUTION DES ZONES ET SECTEURS

Par un curieux paradoxe, le modèle de zones d'utilisation du sol de Thünen, modèle *statique*, a été élaboré d'abord pour les zones rurales, tandis que les principaux

modèles *dynamiques* de formation (dans le temps) de discontinuités ont été élaborés pour les zones urbaines. De même que le modèle de Thünen est applicable aux zones urbaines aussi bien qu'aux zones rurales, de même l'application des modèles dynamiques peut être généralisée. Trois modèles, pris parmi les plus simples, sont présentés ici :

1° Le modèle en *zones concentriques* (fig. 6.15 A) proposé par Burgess (1927) est en grande partie fondé sur des recherches sur la croissance urbaine dans la région de Chicago (Dickinson, 1964, pp. 131-144). Selon la théorie de Burgess, une ville s'étend selon des directions radiales, à partir de son centre, de façon à former une série de zones concentriques ou anneaux. A Chicago, cinq anneaux se succèdent, du centre vers la périphérie : (a) un quartier central d'affaires (C.B.D.) à l'intérieur; (b) une zone de transition entourant a, dans laquelle des quartiers résidentiels sont « envahis » par les affaires et les activités du noyau central; (c) une zone où habitent les classes laborieuses; (d) une zone résidentielle plus riche, avec maisons individuelles;

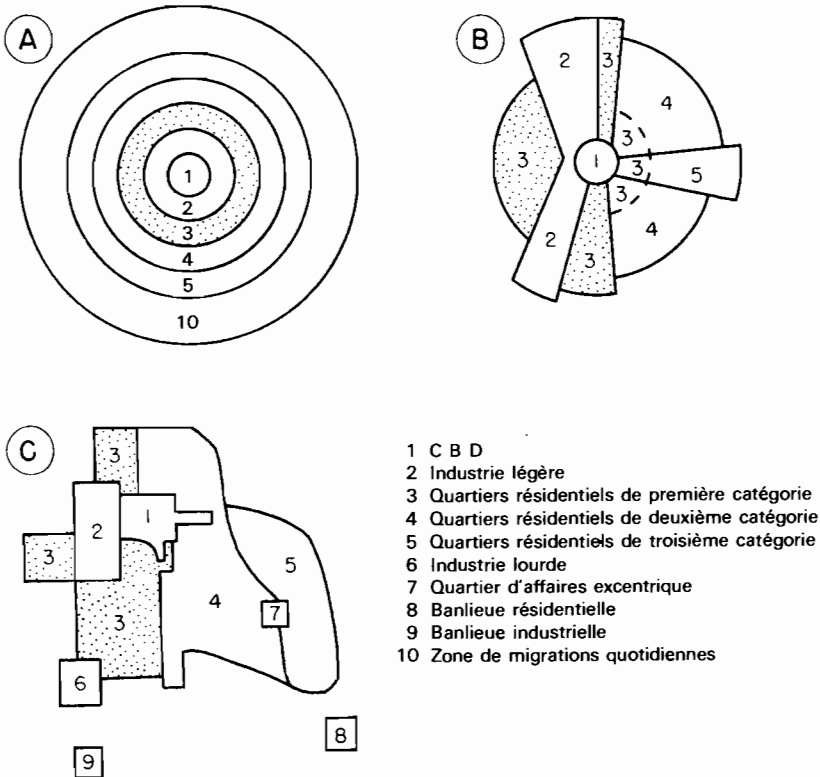


Fig. 6.15 — Relations entre zones et densité selon les modèles d'expansion urbaine : modèle concentrique (A); modèle à secteurs (B); modèle polynucléaire (C).

Source : PRED, 1964, p. 167.

(e) une zone périphérique, d'où partent des migrations quotidiennes, et qui comprend des banlieues et des villes-satellites. Burgess reconnaît que ce plan type annulaire simple est, inévitablement, modifié par le relief, les voies de communication, etc.; il considère néanmoins que chaque zone s'étend vers l'extérieur, en colonisant la zone suivante, et que par conséquent l'extension radiale sur un large front est le processus qui domine dans la formation du plan de l'aire urbaine.

Bien que les discussions sur le modèle de Burgess aient surtout concerné les zones urbaines, il est également applicable aux zones rurales. Waibel (1958) a identifié une série de zones qui se développent en demi-cercle autour des aires de colonisation allemande ancienne, dans le Sud du Brésil. Au cours de l'histoire de la colonisation des Pampas argentines, des modes d'utilisation du sol de bon rapport (par exemple la culture du blé) ont progressivement repoussé les modes d'utilisation de moindre rapport (par exemple l'élevage des moutons) vers les marges extérieures de la région (James, 1959, pp. 324-355). La fusion du modèle statique de Thünen et du modèle dynamique de Burgess pourrait fournir un instrument de description qu'il serait intéressant d'appliquer à l'étude comparative de la colonisation européenne dans les pays d'outre-mer (Thomas, 1956, pp. 721-762).

2° Hoyt (1939) a proposé un autre modèle spatial de croissance urbaine : le modèle en *secteurs* (fig. 6.15 B). Cet auteur a été conduit par ses recherches sur le niveau des loyers dans les villes américaines à soutenir que les différents types de zones résidentielles tendent à croître en direction de l'extérieur, le long de rayons distincts, et que le nouvel accroissement qui se produit sur l'arc extérieur d'un secteur tend à reproduire le caractère de l'accroissement précédent de ce secteur. Le modèle de Hoyt constitue manifestement un perfectionnement du modèle plus ancien de Burgess, en ce sens qu'il prend en considération à la fois la distance et la direction à partir du centre de la ville; de ce fait, il répond à certaines des critiques faites contre le modèle annulaire, par exemple celle liée au fait que le schéma de croissance de villes comme Paris (Dickinson, 1964, pp. 144-152) est plutôt en étoile que circulaire.

Le modèle en secteurs est également applicable aux processus de croissance en milieu rural. La figure 6.16 représente les périodes successives de l'expansion du front caféier, dans le Sud-Est du Brésil (Monbeig, 1952; Stein, 1957); on y remarque la canalisation de la zone de culture du caféier, le long de la vallée du Paraíba. La régularité de la succession croissance-prospérité-abandon a suscité l'élaboration d'une variante du modèle en secteurs, le modèle du « front creux » qui a remis en question ce que l'on pensait de l'expansion du peuplement au Brésil (Haggett, 1961-A, p. 50). C'est par une croissance en secteurs, définie à partir d'une ligne de base et non d'un centre, que Sauer a interprété le développement des grandes zones agricoles de l'Est des États-Unis; les caractéristiques des colons installés sur la ligne de base qu'était la côte atlantique (des colons allemands en Pennsylvanie par exemple) ont été progressivement transférées vers l'Ouest, à mesure que les pionniers pénétraient dans les régions transappalachiennes.

3° Harris et Ullman (1945) ont proposé un modèle *polynucléaire* (fig. 6.15 C) qui constitue une modification des deux modèles précédents. Selon ces auteurs, le schéma de croissance est centré non sur un seul noyau urbain, mais sur plusieurs.

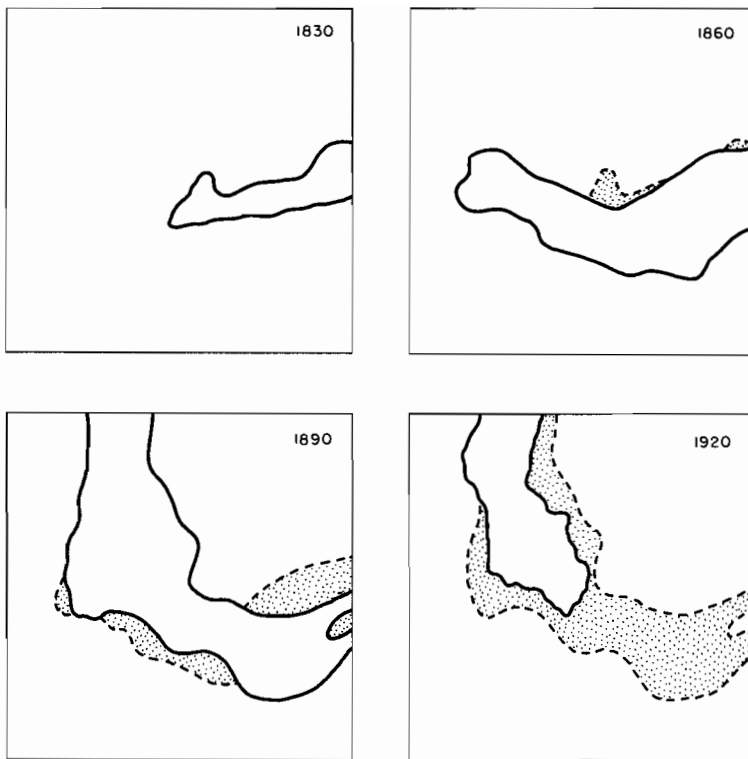


Fig. 6.16 — Suite d'étapes de trente ans dans la croissance et l'abandon (en grisé) de la zone de culture du café, dans un carré échantillon ($G = 4,5$) de l'État de São-Paulo, Brésil.

Le nombre de ces centres de croissance dépend à la fois des vicissitudes historiques et des forces de localisation, qui rassemblent certaines fonctions mais en dispersent d'autres. La question de savoir pourquoi certains secteurs deviennent d'actifs centres de diffusion, tandis que d'autres stagnent, a été davantage étudiée en milieu rural qu'en milieu urbain. Ainsi, Sauer (1952) a consacré un ouvrage paru dans les Bowman Lectures au problème des foyers de l'agriculture situés tant dans l'Ancien que dans le Nouveau Monde, et les résultats qu'il a obtenus, si sujets à controverse soient-ils, ont ranimé le débat sur ce sujet. Spencer et Horvath (1963) ont fait des recherches sur les points d'origine de trois zones agricoles modernes : le *Corn Belt* en Amérique du Nord, la « zone du cocotier » aux Philippines et la « zone du caoutchouc » en Malaisie. Des modèles stochastiques de diffusion ont déjà été appliqués à l'évolution des villes; par exemple, Morrill et Bunge (U.G.I., 1964, p. 329) ont étudié l'expansion des ghettos noirs dans les villes américaines; ces modèles pourraient-ils être inversés, de façon à donner quelques indications sur la localisation probable des noyaux d'où part la croissance? En ce qui concerne la géographie botanique, Cain (1944) a précisé certains des indices permettant de repérer de tels noyaux.

Les trois modèles — zones concentriques, secteurs, noyaux multiples — ne s'excluent évidemment pas l'un l'autre. On peut relever des traces de chacun d'eux dans l'évolution des zones, aussi bien à la campagne qu'en ville. C'est ainsi que Garrison (Garrison *et al.*, 1959, p. 144) a proposé un modèle de croissance synthétique : un processus de croissance radial, partant à la fois du centre principal et d'autres noyaux secondaires, est recoupé par une croissance axiale, dont la poussée s'exerce vers la périphérie, le long des lignes de transport issues du centre principal. Le « tri » progressif des activités et des résidences en zones sociales, économiques et techniques distinctes est également inclus dans ce modèle général. Des observations sur le Sud du Cambridgeshire, en Angleterre (fig. 6.17), vérifient ce point de vue ; l'expansion de la construction depuis la seconde guerre mondiale y présente trois gradients distincts :

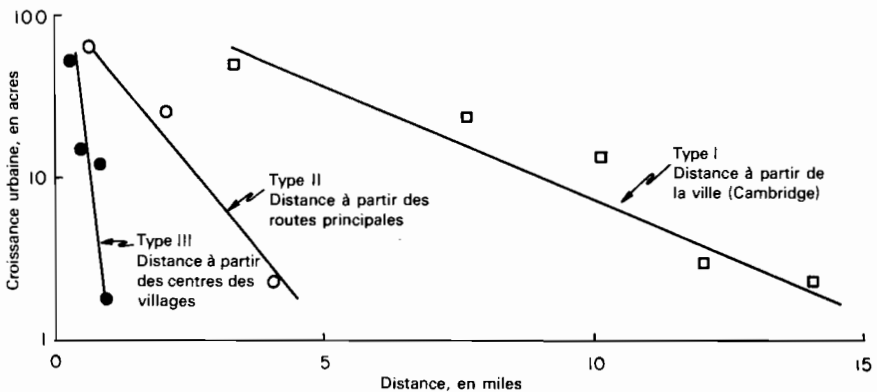


Fig. 6.17 — Liaisons entre la distance et la croissance de l'urbanisation, dans le Sud du Cambridgeshire, Angleterre.

Source : Enquête sur le terrain de D. E. KEEBLE et P. HAGGETT, 1964.

un gradient faible autour de la ville principale, en accord avec le modèle à zones concentriques ; un gradient plus accusé de part et d'autre des routes principales, en accord avec le modèle à secteurs ; un gradient très fort autour des villages écartés, en accord avec le modèle à noyaux multiples. Manifestement, on a besoin des trois modèles, non d'un seul, pour expliquer la croissance de cette zone d'utilisation du sol. Ceci permet de penser qu'utiliser les modèles de localisation de façon éclectique plutôt que sélective peut être la meilleure méthode d'analyse spatiale ; par exemple, Chapin et Weiss (1962, pp. 425-458) ont employé quelque treize variables, y compris des mesures d'accessibilité, dans une analyse de régression multiple faite sur la croissance urbaine autour d'un groupe de villes du piémont appalachien, en Caroline (Sud-Est des États-Unis).

Les distorsions dues au comportement sub-optimal

Nous avons mentionné (chap. 1, p. 37) l'opposition entre modèles d'optimisation et modèles de satisfaction relatifs au comportement humain. Wolpert (1964) a étudié la distribution de la productivité du travail agricole dans un échantillon d'exploitations situées dans le Mellansverige, en Suède, et montré que la surface représentant la productivité réelle (fig. 6.18 A) est située nettement au-dessous de la surface représentant la productivité optimale (fig. 6.18 B). Wolpert a déterminé

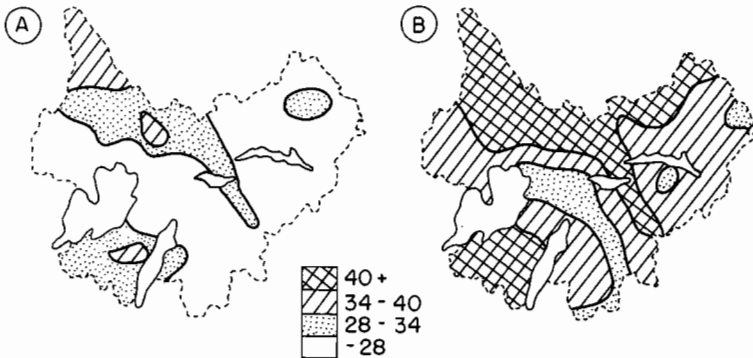


Fig. 6.18 — Contraste entre la surface de productivité du travail agricole réelle (de satisfaction) (A) et la surface potentielle (d'optimisation) (B), dans le Mellansverige, en Suède ($G = 4,0$).

Source : WOLPERT, 1964, pp. 540, 541.

les valeurs optimales en employant la programmation linéaire, pour dix-sept exploitations représentatives, et fait une interpolation, à partir d'une analyse de régression, pour les cinq cents autres exploitations de l'échantillon. On peut mettre en doute l'exactitude de chacune des valeurs ainsi obtenues, mais l'ampleur de l'intervalle qui sépare les deux surfaces est trop grande et trop systématique pour s'expliquer de façon satisfaisante. Les valeurs réelles ne dépassent 70 % de l'optimum que sur moins de la moitié de la surface; dans quelques secteurs, la productivité descend à 40 % de l'optimum. Wolpert décrit l'intervalle de façon assez détaillée, et conclut que les principaux facteurs qui règlent son importance sont : 1° le simple fait que les agriculteurs suédois ne visent pas à atteindre un niveau optimal de productivité, mais seulement un niveau satisfaisant (sub-optimal); 2° les variations régionales du niveau de connaissance, liées aux décalages, dans le temps, de la diffusion de l'information à partir de centres comme Stockholm et Uppsala (il s'agit par exemple de la diffusion de pratiques agricoles recommandées); 3° l'incertitude en ce qui concerne les chances qu'a telle ou telle association de cultures et d'élevage de s'avérer rémunératrice. Ces incertitudes ne sont pas seulement relatives aux aléas climatiques ou aux maladies des plantes ou des animaux; il s'agit aussi d'incertitudes personnelles (santé, argent) et économiques (prix du marché). Comme Wolpert l'observe ironiquement, les agri-

culteurs, pourvus d'informations sur l'avenir, se seraient beaucoup plus rapprochés de l'optimum théorique qu'ils ne l'ont fait en disposant seulement, ce qui est inévitable, d'informations sur le passé.

Le spectre du comportement sub-optimal hante toute discussion sur les modèles normatifs classiques dont il a été question ci-dessus, dans les chapitres 2 à 6; il fournit une bonne occasion de rappeler l'avertissement donné à la fin du chapitre 1. Il est manifestement indispensable que davantage de modèles de localisation soient fondés sur le principe de satisfaction plutôt que sur le principe d'optimisation; une grande partie du travail de recherche en cours vise à combler l'intervalle entre le monde auquel on s'attend et le monde que l'on peut observer. La plupart des modèles existants, nous l'admettons volontiers, ont fait leur temps; mais c'est par des modèles améliorés et plus compliqués qu'il est nécessaire de les remplacer, non par l'anarchie de l'empirisme régional. Demander « des faits, rien que des faits », c'est demander l'impossible. La géographie régionale a autant besoin de modèles que la géographie générale, et c'est seulement par leur commune contribution à l'élaboration de régions fondées sur des modèles (*cf.* Chorley et Haggett, 1965-A, chap. 18) que toutes deux ont des chances de faire de rapides progrès.

SECONDE PARTIE

Les méthodes

« Ce n'est qu'après avoir reconnu ou soupçonné une constante que l'on peut organiser l'expérimentation : jusque-là il est peu utile de multiplier les expériences... et l'accumulation de nombreuses observations n'est que gaspillage d'énergie, aussi bien en physique qu'en cartographie. »

(Stephen TOULMIN, *The Philosophy of Science*, 1953, pp. 111-112.)

LA COLLECTE DES DONNÉES

Le progrès des modèles de localisation et d'organisation territoriale dont nous avons exposé les lignes générales dans les chapitres 2 à 6 dépend en grande partie de notre capacité à les mettre à l'épreuve des formes géographiques observables. Des modèles théoriques nouveaux peuvent être élaborés, et le seront, sur des bases déductives, mais nous avons peu de chance d'apprécier leur utilité, si nous ne pouvons pas y introduire des données empiriques. Les quatre derniers chapitres de ce livre sont consacrés aux façons de collecter, mesurer, classer et décrire l'information géographique; non pour ajouter à l'abondante bibliographie déjà disponible, mais afin de soumettre à un examen critique les concepts dont nous disposons. Il est très facile, en géographie humaine, de collecter des informations; il est très difficile de réunir des informations significatives, se rapportant à des problèmes de localisation précis. C'est pourquoi la seconde partie de ce livre suit les chemins bien tracés de la méthode expérimentale, partant de la collecte des données pour aboutir à la vérification des hypothèses.

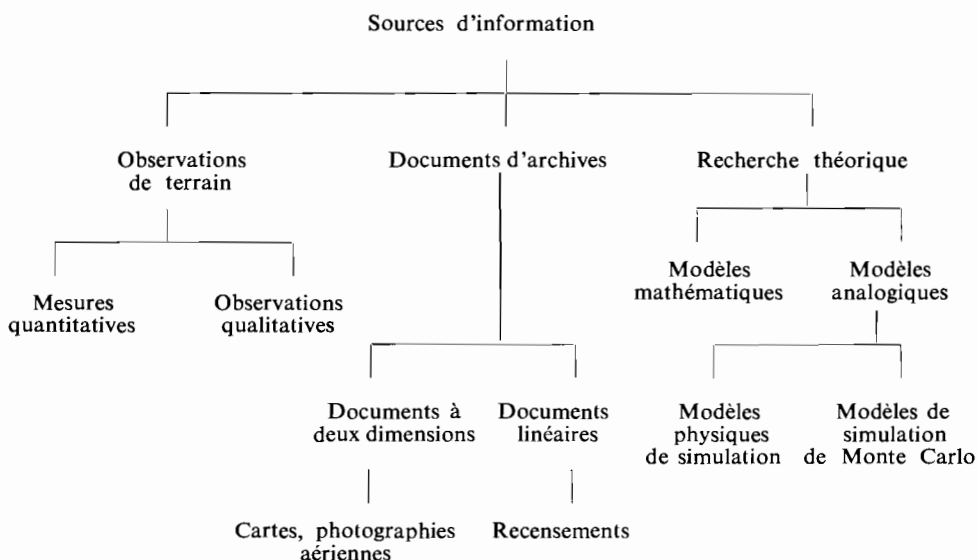
1. LES POPULATIONS GÉOGRAPHIQUES

Les sources d'information géographique

L'une des difficultés qui, dans le passé, a constamment pesé sur la collecte de données géographiques est la sujétion à l'égard des sources de seconde main. Parmi les catégories d'information présentées sur le tableau 7.1, aucune n'est plus importante que celle des « documents d'archives »; elle comprend à la fois l'information enregistrée directement en deux dimensions (par exemple des cartes, des photographies aériennes) et l'information qui peut être transposée directement en deux dimensions (par exemple des recensements). Il est difficile de faire des estimations précises, mais un contrôle rapide des recherches de ce type publiées dans les revues de géographie au cours des cinq dernières années permet de penser que cette source d'information représente plus de 95 % de nos travaux.

TABLEAU 7.1

SOURCES D'INFORMATION EN GÉOGRAPHIE HUMAINE



Source : D'après R. J. CHORLEY, in G. DURY, *Essays in Geomorphology*, 1965, p. 276.

Trois séries de conséquences résultent de cette dépendance : 1° les données, recueillies à des fins non géographiques, sont, invariablement, plus ou moins inadaptées

aux besoins de la recherche géographique; Gregor (1962) l'a montré à propos de la Californie et Coppock (1955) à propos de données sur les paroisses britanniques; 2^o nous sommes prisonniers du degré de précision initial de l'enquête, degré de précision dont Thatcher (1949, pp. 22-35) et Morgenstern (1963) ont montré qu'il pouvait être très faible, et qui échappe de toute façon à notre contrôle direct; 3^o les informations sont données par « paquets » (par exemple par circonscriptions administratives) qui sont incommodes et anachroniques et posent des problèmes extrêmement ardues de cartographie et d'interprétation (Duncan, Cuzzort et Duncan, 1961). Certes, il existe des façons de tourner certaines de ces difficultés (section 3) et nous continuerons, dans le proche avenir, à utiliser comme sources d'information des sous-produits d'autres travaux; mais il sera nécessaire d'explorer les autres sources possibles d'information géographique.

Le présent chapitre est en grande partie consacré aux possibilités d'emploi des méthodes de sondage en vue de recueillir une information qui soit significative du point de vue des exigences particulières de nos recherches. Dans la mesure où l'emploi de ces méthodes implique la collecte sur le terrain, il s'agit d'un retour à une tradition qui était la marque de la géographie au XIX^e siècle, et qui s'est maintenue fermement dans l'enquête sur l'utilisation du sol (*Land Utilization Survey*) faite en Grande-Bretagne dans les années 1930 (Board, in Chorley et Haggett, 1965-A, chap. 10). Traditionnellement, on a moins eu recours aux informations tirées d'une recherche théorique où les conditions de localisation sont simulées soit par des modèles mathématiques, soit par des modèles physiques, soit par des processus markoviens (chap. 10, section 3). Entre ces deux sources d'information, le travail sur le terrain offre la meilleure solution dans l'immédiat, en ce sens qu'il promet de fournir, tout au moins quand il est lié à des plans expérimentaux rigoureux, une information pertinente sur l'applicabilité des modèles de localisation existants. En même temps, il fournit des données que la recherche théorique peut manipuler, tester et généraliser.

Pris dans son ensemble, le problème de l'information en géographie est un problème complexe, qui a été quelque peu obscurci par des attitudes traditionnelles (par exemple par le préjugé en faveur des données « exhaustives », contre les données d'échantillon) et par une tendance à considérer ce problème dans le cadre de la seule géographie. Le développement de la théorie de l'information au cours des vingt dernières années montre que beaucoup de nos difficultés sont communes à la plupart des sciences, et nous devons probablement élargir notre perspective en les plaçant dans un cadre plus éclectique (Abramson, 1963).

La définition des populations géographiques

Une *population* (on dit aussi, parfois, un *univers*) peut être définie comme une collection quelconque, finie ou infinie, d'objets particuliers (Kendall et Buckland, 1957, p. 222). Une population géographique est donc une collection d'objets qui ont en commun une certaine caractéristique géographique. Ainsi, on peut considérer les comtés des États-Unis (non compris l'Alaska et les Hawaï) comme une population

géographique dans laquelle il y a un nombre fini (3 074) d'individus. Bien que la définition des *individus* de cette population soulève des difficultés (*cf. infra*), la définition des populations est une opération *ad hoc*, régie par les objectifs de la recherche. Krumbein (1960, p. 349) a montré que, lorsque les buts de l'étude ont été définis, la population est définie.

La distinction essentielle, pour la plus grande partie de la recherche géographique, est la distinction entre, d'une part, la *population-cible*, c'est-à-dire la population totale, telle qu'on peut la concevoir, et, d'autre part, la *population échantillonnée*, c'est-à-dire la population réelle, d'où sont tirés des échantillons (Cochran, Mosteller et Tukey, 1954). Si on veut vérifier la validité d'un concept relatif à la localisation, disons la distribution de la taille des villes selon leur rang, la population-cible à propos de laquelle on veut énoncer une règle générale ou une prévision peut être le monde. Mais la population que l'on est, en fait, en mesure d'étudier est plus réduite, puisque, par suite des insuffisances de recensements ou à cause de précautions d'ordre politique, tous les pays du monde ne livrent pas des données appropriées. C'est ainsi que Ginsburg (1961), dans son *Atlas of Economic Development*, a défini une population-cible de 140 « pays ou unités administratives équivalentes ». Mais, pour la plupart de ses 57 indices, la population échantillonnée n'était que d'une centaine de pays. Même en ce qui concerne la densité de population, qui est l'indice le plus largement disponible, la population échantillonnée (139 pays) était tout juste inférieure à la population-cible.

Population-cible et population échantillonnée ne sont identiques que dans un nombre relativement réduit de problèmes de recherche. La connaissance que nous avons des ondes de diffusion est aussi fortement « biaisée » (faussée) par notre expérience de la société « occidentale » que les conceptions de W. M. Davis sur les cycles de l'érosion aride par son expérience du Sud-Ouest des États-Unis. Il faut souvent avoir conscience de ce que l'on a affaire seulement à la sous-population accessible : « cela devient une question de jugement de savoir si la population échantillonnée et la population-cible sont assez proches l'une de l'autre pour que les conclusions concernant la première puissent être appliquées sans restriction à la seconde » (Krumbein, 1960, p. 353).

Définitions opérationnelles

La définition des individus composant une population géographique soulève des difficultés complexes, mais propres à chaque cas, qui doivent être résolues par l'adoption de définitions opérationnelles. Une *définition opérationnelle* est un ensemble de règles ou de critères arbitraires, grâce auxquels les individus qui appartiennent à une population peuvent être identifiés clairement. Il existe des exposés d'ensemble de ce problème (par exemple, Morgenstern, 1963), mais il vaut peut-être mieux exposer un cas particulier. L'habitat urbain constitue un exemple typique.

NATURE DU PROBLÈME

Alexander (1963, p. 528) a montré que ce qu'on entend par « habitat urbain » varie considérablement d'un pays à l'autre : au Danemark, on compte comme urbaines toutes les unités d'habitat de 250 habitants ou plus, tandis qu'en Espagne et en Suisse on ne compte comme urbaines que celles de 10 000 habitants ou plus. En ce qui concerne les États-Unis, le Bureau du recensement publie des données pour quatre types différents d'« aires de caractère urbain » (*urban-like areas*) qui sont rangées approximativement d'après leur importance : 1^o *la localité urbaine (urban place)*, c'est-à-dire n'importe quelle localité de 2 500 habitants ou plus; 2^o *la municipalité urbaine (incorporated city)*, c'est-à-dire la ville de 2 500 habitants ou plus qui constitue une entité politique particulière; 3^o *l'aire urbanisée (urbanized area)*, qui est centrée sur une ville de 50 000 habitants ou plus et qui inclut la frange urbaine entourant chaque ville; 4^o *l'aire métropolitaine (standard metropolitan area)* qui englobe un groupe de comtés contenant au moins une ville de 50 000 habitants ou plus, et dont la plus grande partie de la surface a un caractère non urbain.

Ces quatre catégories débordent largement l'une sur l'autre et ne s'excluent pas mutuellement. Chacune donne une image différente de ce qu'est le paysage urbain aux États-Unis, et chacune est valable dans des conditions particulières. A vrai dire, comme l'ancienneté de la documentation diffère d'un type à l'autre, ce fait détermine souvent le choix effectif de la définition à employer. On dispose généralement, pour les municipalités, de données remontant à 1900, alors que pour les aires métropolitaines la documentation date d'après la seconde guerre mondiale, et pour les aires urbanisées, seulement d'après 1950. En Grande-Bretagne, le problème de la définition de la ville est tout aussi ardu; Dickinson (1963, p. 68) a prouvé, par exemple, que Liverpool peut être soit plus grande soit plus petite que Manchester, selon la façon dont chacune des deux villes est délimitée.

Selon Davis et son groupe (International Urban Research, 1959, pp. 6-7), la ville « naturelle » (c'est-à-dire l'aire urbanisée) peut être mal représentée, dans les recensements, selon diverses façons présentées sous forme de schémas sur la figure 7.1; la ville « naturelle » est en grisé et les unités statistiques du recensement sont marquées par des limites en trait plein.

Le premier de ces trois types de découpage (fig. 7.1 B) est celui de la ville « trop étroitement délimitée » : les limites définies dans les statistiques sont plus étroites que l'aire urbaine; en conséquence, celle-ci peut ne pas être séparée des districts ruraux environnants, ou être démembrée entre d'autres villes définies dans les statistiques. De tels types « trop étroitement délimités » se rencontrent couramment en Australie, où de grandes aires urbaines sont divisées en municipalités, comtés, conseils, etc. Ainsi, Sidney proprement dite n'avait que 193 100 habitants en 1955, alors que l'ensemble de l'aire urbaine avait 1 869 000 habitants.

Le deuxième type de découpage (fig. 7.1 A) est celui de la ville « trop largement délimitée » : les limites définies dans les statistiques sont plus larges que l'aire urbaine et peuvent contenir plus d'une aire urbaine. Aux Philippines, les limites administratives et statistiques de la plupart des « villes » englobent à la fois de vastes zones rurales

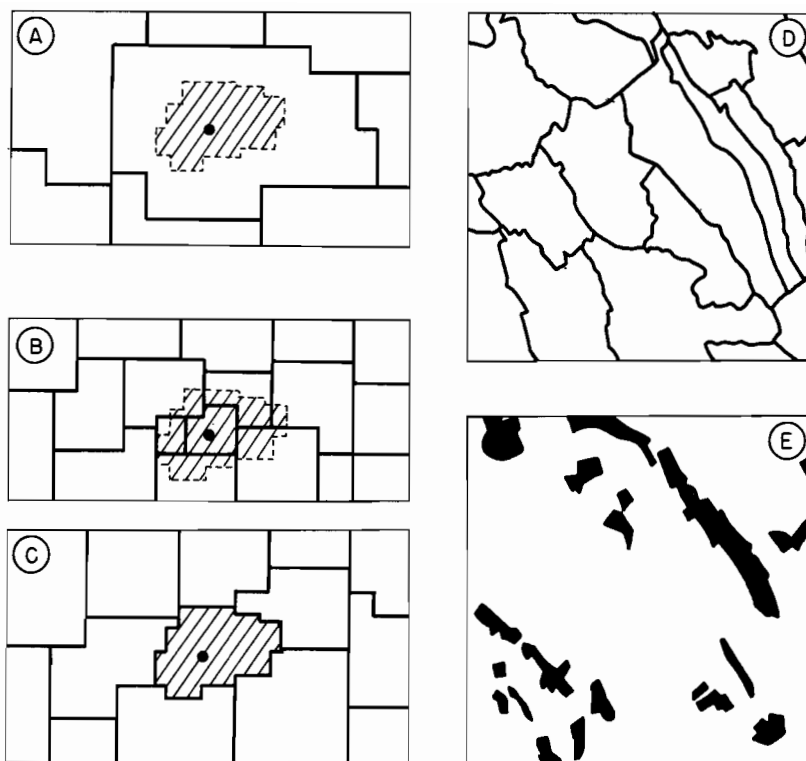


Fig. 7.1 — A, B, C. Relations possibles entre des unités statistiques et l'aire urbanisée d'une ville. — D. Limites des communes dans un carré échantillon ($G = 6,6$) du centre des Chiltern Hills, dans le Sud de l'Angleterre. — E. Terres qui sont mal classées si on utilise les limites représentées en D.

Source : COPPOCK, 1960, p. 318.

et des localités de tailles diverses. La troisième possibilité, la ville « exactement délimitée », où les limites administratives et politiques coïncident, représente l'idéal, mais se rencontre rarement (fig. 7.1 C). Les villes du Pakistan paraissent les plus proches de cet idéal.

TENTATIVES DE SOLUTION

Le problème de la normalisation des définitions des villes n'est pas résolu. Parmi les solutions partielles qui ont été proposées, l'une des plus complexes est celle que le Bureau du recensement des États-Unis (United States Census Bureau) utilise pour définir les *Standard Metropolitan Areas* ou S.M.A., et qui tient compte de la densité de population, des fonctions et du degré d'intégration (*Office of Statistical Standards*, 1958). La S.M.A. doit contenir au moins une ville de 50 000 habitants ou plus, qui constitue le noyau central. S'y ajoutent les comtés limitrophes qui ont un caractère

« métropolitain » (c'est-à-dire qui renferment au moins 10 000 travailleurs non agricoles, ou 10 % des emplois non agricoles de la S.M.A., ou dont 50 % au moins de la population réside dans des circonscriptions administratives ayant une densité de population de 150 habitants ou plus par mile carré et contiguës à la ville-centre. De plus, les travailleurs non agricoles doivent former au moins les deux tiers du total de la population active du comté. A ces règles strictes s'ajoutent des critères d'intégration entre le comté qui constitue la ville-centre et les comtés périphériques, critères fondés sur l'importance relative des migrations quotidiennes (par exemple 15 % des travailleurs habitant dans un comté périphérique doivent travailler dans le comté qui constitue la ville-centre) et sur les communications téléphoniques (le nombre mensuel des appels vers le comté qui constitue la ville-centre doit être au moins quadruple du nombre des abonnés habitant dans le comté périphérique considéré).

Bien qu'il ait fallu prévoir des exceptions à ces règles (par exemple pour la Nouvelle-Angleterre, qui pour des raisons historiques a un système administratif spécial, le *town system*), ce que le Bureau du recensement a ainsi tenté de faire, avec beaucoup de soin, a situé le problème de la définition des villes sur un plan nouveau. Cet essai a conduit directement à des recherches comme celles du Groupe international de recherches urbaines (International Urban Research Group) de Berkeley, qui a présenté l'inventaire le plus complet qu'on ait fait jusqu'à présent de toutes les villes du monde, définies de façon à permettre des comparaisons. La définition donnée par ce groupe de l'« aire métropolitaine » atteint douze pages de discussion serrée (y compris deux pages consacrées aux « cas difficiles ») (*International Urban Research*, 1959, pp. 20-32).

On conçoit que d'autres solutions, moins complexes, aient été proposées. Grytzell (1963) a utilisé une « échelle mobile » de la densité de population, et illustré sa méthode de délimitation en prenant l'exemple de cinq grandes villes (New York, Londres, Paris, Stockholm et Copenhague). Il démontre que si on fixe à l'avance un niveau « urbain » de la densité de population, on laisse échapper d'importantes variations régionales de la densité des aires urbaines, et que c'est la densité relative qui distingue la ville des zones environnantes.

Ce problème des définitions opérationnelles, discuté ici à propos des aires urbaines, s'étend en fait à toutes les populations géographiques. Le chevauchement des diverses définitions possibles d'une ville présente des similitudes avec le problème de la non-coïncidence des limites d'exploitations et des limites de communes que Coppock (1955) a discuté en donnant l'exemple de la région des Chiltern Hills, dans le Sud de l'Angleterre. Dans cette région (fig. 7. 1 D), les contours de l'unité territoriale pour laquelle les statistiques agricoles semblent collectées (c'est-à-dire la paroisse) et ceux de l'unité territoriale à laquelle elles se rapportent en fait (c'est-à-dire les terres appartenant aux exploitations sises dans cette paroisse) peuvent présenter des divergences considérables. Une proportion importante des terres des exploitations se trouve ainsi à l'extérieur des limites des unités administratives dans le cadre desquelles elles sont recensées et cartographiées (fig. 7.1 E).

2. LES PROBLÈMES DE « COUVERTURE »

Le problème de la « couverture » est simple et immédiat. La surface de la terre est si grande que — posons le problème sous une forme caricaturale — on pourrait attribuer à chacun des 3 000 géographes professionnels (Meynen, 1960) une surface de quelque 5 000 miles carrés pour ses recherches personnelles. Si nous pensons, avec Hartshorne, que le dessein de la géographie est de « donner une description et une interprétation précises, ordonnées et rationnelles du caractère variable de la surface de la terre » (Hartshorne, 1959, p. 21), ce chiffre mesure *grosso modo* l'ampleur de la tâche que nous nous assignons.

Ce problème n'est pas nouveau. Il est apparu dans toute son ampleur depuis l'époque d'Ératosthène, et il est bien possible que nos prédécesseurs aient eu une conscience plus vive de son importance. De nos jours, bien des isarithmes douteuses se promènent, présomptueuses, à travers des zones que nos aînés, plus honnêtes, auraient remplies de griffonnages héraldiques portant l'indication « Terra Incognita ». Il y a en gros deux façons de venir à bout de ce problème : indirectement, en employant des méthodes de sondage; directement, en accumulant les données.

Solution indirecte : les sondages

Depuis longtemps, on fait des études d'échantillons en géographie, tant dans la recherche que dans l'enseignement. Platt (1942, 1959) avait une conscience aiguë de ce « dilemme ancien et persistant : on essaie d'embrasser par la pensée de grandes régions, tout en ne voyant qu'un petit secteur à la fois » (1942, p. 3); il a habilement utilisé des études d'échantillons, faites sur le terrain, pour construire une série très claire d'images des régions d'Amérique latine. De même, Highsmith (Highsmith, Heintzelman, Jensen, Rudd et Tschirley, 1961) a employé une sélection, faite à l'échelle mondiale, d'études d'échantillons comme base d'un très utile manuel de géographie économique.

Il y a cependant une différence importante entre ces tentatives d'utilisation d'échantillons en vue de tourner le problème de la couverture et la façon dont l'échantillonnage ou sondage est maintenant employé dans la recherche. Il s'agit de la différence, essentielle, entre le sondage par choix raisonné et le sondage aléatoire ou probabiliste. Quand on fait un sondage par choix raisonné, on sélectionne des individus, qui, pense-t-on, sont caractéristiques de la population dans son ensemble; ainsi, Platt (1942) choisit une seule *fazenda*, comme représentative de la zone caféière de São Paulo. La validité du choix dépend de l'habileté de celui qui le fait; elle prête généralement à discussion. Quand on fait un sondage probabiliste (tableau 7.2), on tire des échantillons sur la base d'une théorie mathématique rigoureuse et, une fois le plan de sondage adopté, des individus sont tirés de la population selon des règles bien établies. Ne sont décrits ici que quelques exemples pris dans la vaste gamme des plans de sondage; il existe d'excellents exposés généraux, faits par Cochran (1953) et par Yates (1960), et un court exposé, très sérieux, des concepts relatifs aux sondages, par Cochran, Mosteller et Tukey (1954).

LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON

Plus un échantillon est grand, plus il a de chances de donner une idée exacte de la population de laquelle il est tiré. La figure 7.2 montre l'exemple de deux échantillons aléatoires de la proportion de terrains boisés dans les Midlands (Angleterre) (Haggett, 1963, p. 112) : à mesure que la taille de l'échantillon (en abscisse) augmente, la moyenne d'échantillon cumulée (en ordonnée) fluctue d'abord quelque peu, puis se stabilise autour de la moyenne de la population, qui est comprise entre des limites indiquées par les deux droites en tireté. Cependant, la liaison n'est pas simple ou linéaire; à mesure que la taille de l'échantillon s'accroît, la précision augmente rapidement tout d'abord, plus lentement ensuite, presque conformément à la loi des rendements décroissants.

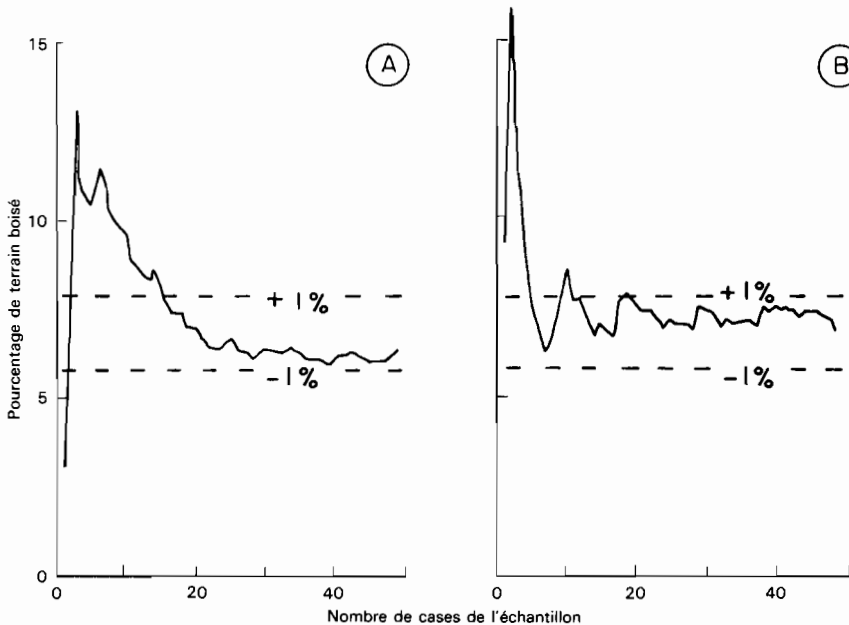


Fig. 7.2 — Amélioration de la précision d'échantillons aléatoires stratifiés en fonction du nombre d'observations.

Source : HAGGETT, 1963, p. 112.

La forme de la liaison entre la taille de l'échantillon et sa précision est connue, en fait, pour les divers plans de sondage; d'où la possibilité d'estimer la taille de l'échantillon qu'il faudra probablement tirer des informations réellement recueillies au cours de l'enquête par sondage. Autrement dit, étant donné un budget limité, on peut estimer la précision probable de l'enquête par sondage; inversement, étant donné un seuil de précision fixé à l'avance, on peut estimer le coût (en temps nécessaire) de l'enquête. Quand il s'agit d'un sondage aléatoire, il existe une règle simple : *ceteris paribus*, l'erreur aléatoire d'échantillonnage est proportionnelle à la racine

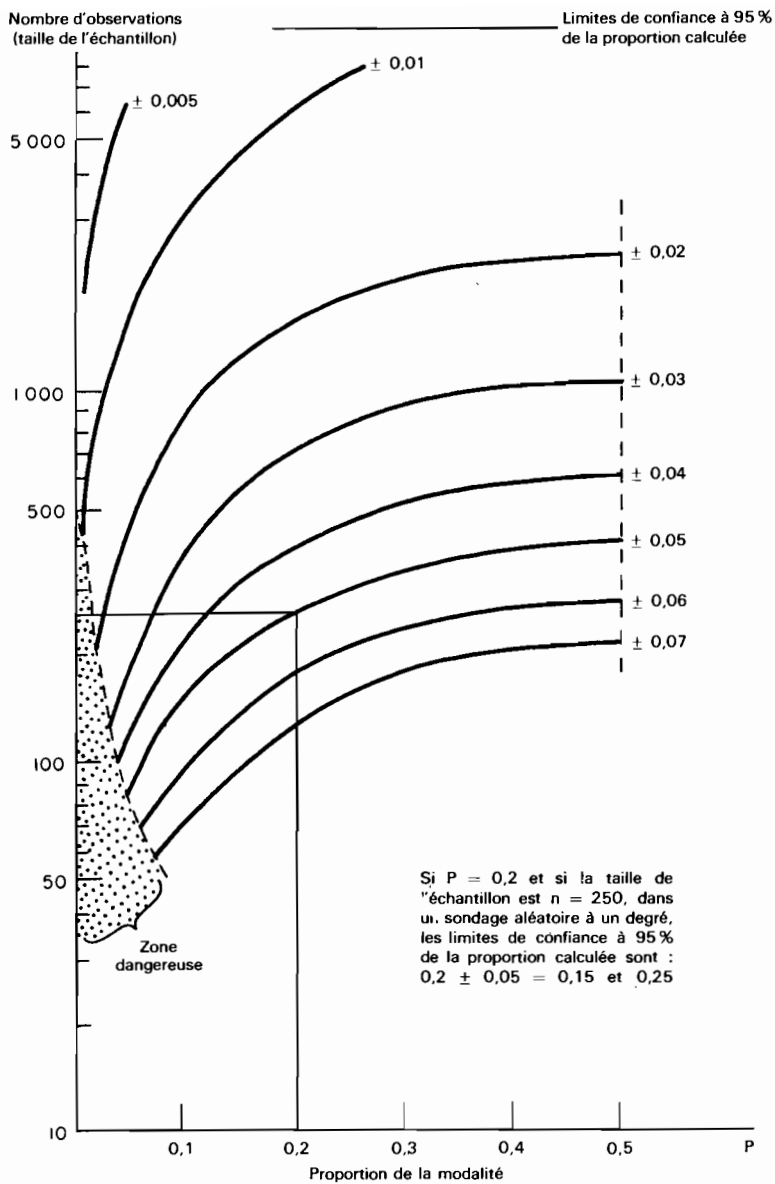


Fig. 7.3 — Limites de confiance à 95 % de la proportion calculée, dans un sondage aléatoire à un degré.

Source : BERRY, 1962, p. 3.

carrée du nombre d'observations. Cette importante règle de la racine carrée indique donc que doubler le nombre d'observations ne revient pas à doubler la précision : si la précision obtenue à partir de vingt-cinq observations est égale à dix unités, la précision obtenue à partir de cinquante observations ne sera pas égale à cinq unités.

Un graphique (fig. 7.3) de Berry (1962) présente cette règle avec beaucoup de clarté : la proportion d'un échantillon correspondant à une modalité donnée (par exemple la proportion de terrains boisés, par rapport à la surface totale) est portée en abscisse; le nombre d'observations de l'échantillon en ordonnée, sur une échelle logarithmique. Supposons qu'on tire un échantillon aléatoire de 200 observations sur l'utilisation du sol, et qu'on constate que 80 de ces observations correspondent à la modalité « terrain boisé », on peut dire que la proportion de terrain boisé est égale à :

$$P = 80 / 200 = 0,40.$$

Un ensemble de courbes est tracé sur le graphique. Chacune représente les limites de confiance à 95 % de la proportion calculée; ces limites vont de $\pm 0,005$ à $\pm 0,07$. Pour l'estimation « 40 % de terrain boisé » calculée sur 200 observations aléatoires, les deux coordonnées (40 et 200) sont celles d'un point situé sur la courbe $\pm 0,07$. Ceci signifie que la véritable proportion de terrain boisé a 95 chances sur 100 d'être comprise entre 0,33 et 0,47. Il y a aussi, évidemment, une faible probabilité, 5 chances sur 100, pour qu'elle soit en dehors de ces limites.

Si on augmente le nombre d'observations, ces limites de confiance se rapprochent. Par exemple, avec 600 observations, les limites sont $\pm 0,04$; avec 2 000 observations, elles sont $\pm 0,02$. Cette liaison apparaît sur le graphique si on trace une droite parallèle à l'axe des ordonnées, et si, en lisant de bas en haut, on note ses intersections avec les courbes représentant des limites de confiance.

Il est évidemment dangereux d'estimer une proportion, soit lorsque la taille de l'échantillon est trop petite, soit lorsque la proportion estimée est trop petite. Sur la figure 7.3, la zone en grisé située dans la partie inférieure gauche du graphique représente la zone dangereuse (toujours pour le seuil de confiance de 95 %) où la limite de confiance inférieure tombe au-dessous de zéro. Comme ceci entraîne une impossibilité (on ne peut pas concevoir une proportion inférieure à zéro de terrains boisés), il faut augmenter le nombre d'observations, ou accepter un seuil de confiance plus bas. Comme Cochran (1953) l'a fait remarquer, l'emploi du sondage aléatoire en vue de déterminer la proportion d'une modalité rare (par exemple les surfaces bâties, dans une enquête sur l'utilisation du sol dans une zone rurale) ressemble à la recherche d'une aiguille dans une botte de foin. Dans de tels cas, d'autres procédés de sondage, plus complexes, peuvent être plus adéquats.

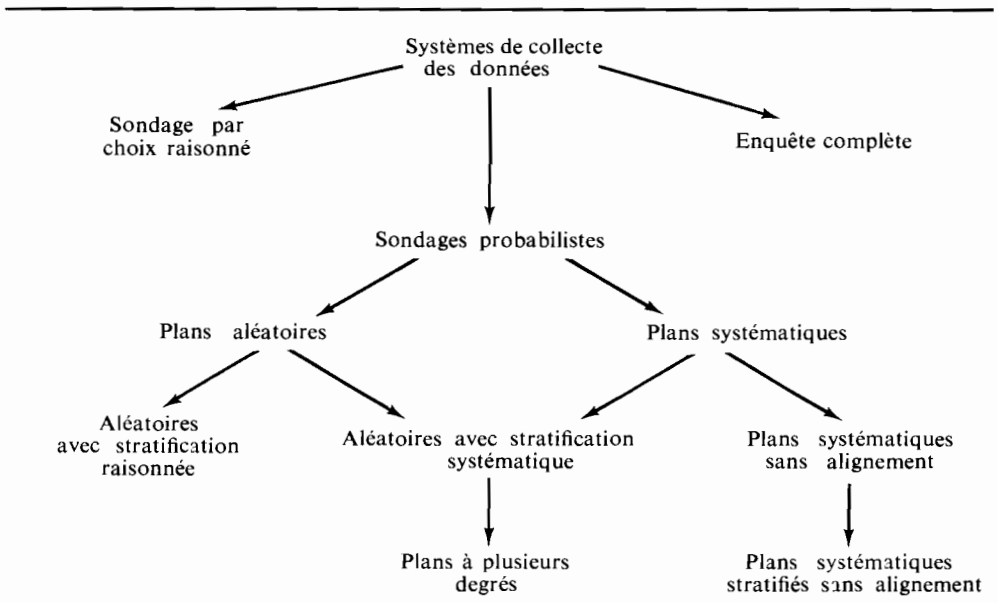
QUELQUES TYPES DE PLANS DE SONDAGE

Le choix d'un plan de sondage, dans l'analyse de localisation, dépend en grande partie du type de distribution à étudier. Une enquête par sondage sur les mouvements

de circulation dans un réseau de chemins ruraux ne demandera pas du tout le même plan qu'une enquête par sondage sur les établissements industriels installés dans une grande ville. Si on compare l'étude de Birch (1960) sur la cartographie agricole de l'île de Man et celle de King (1961) sur l'espacement de l'habitat aux États-Unis, on constate qu'ils ont tous deux employé des méthodes de sondage probabilistes, mais que leurs plans de sondage étaient tout à fait différents. Yates (1960, pp. 20-101) a discuté de façon très approfondie les considérations pratiques qui influent sur le choix du plan de sondage, pour une gamme très étendue de distributions géographiques.

Nous nous bornons ici à traiter un seul type de distribution géographique, mais il s'agit d'un type important, l'utilisation du sol. C'est une distribution que l'on peut considérer comme continue, et qu'on a eu tendance à étudier, dans le passé, par enquête directe et complète plutôt que par échantillonnage. Divers types de plans de sondage ont été élaborés pour ce genre de distribution (tableau 7.2); nous en présentons quatre : le sondage aléatoire à un degré, le sondage stratifié, le sondage systématique et le sondage systématique stratifié sans alignement. Deux autres méthodes, le sondage à plusieurs degrés et le sondage multifactoriel, seront discutées dans les chapitres ultérieurs (pp. 296-298 et 334-337). Le présent exposé est fondé sur ceux de Krumbain (1960), Berry (1962) et Quenouille (1949).

TABLEAU 7.2
LES PLANS DE SONDRAGE



Source : P. HAGGETT, in R. J. CHORLEY et P. HAGGETT, *Frontiers in Geographical Teaching*, 1965, p. 166.

1° *Sondage aléatoire à un degré* : un échantillon de N individus est tiré de la population, qui est une surface, selon une série de coordonnées aléatoires. La surface est rapportée à deux axes rectangulaires; ceux-ci sont divisés en unités, qui sont numérotées. Chaque localisation est choisie au moyen d'une paire de coordonnées aléatoires; par exemple, des nombres au hasard 98 et 26 découlerait la localisation : 98 unités vers le nord, 26 vers l'est. La figure 7.4 représente la localisation de vingt-quatre points obtenus par sondage aléatoire à un degré fait sur la surface étudiée.

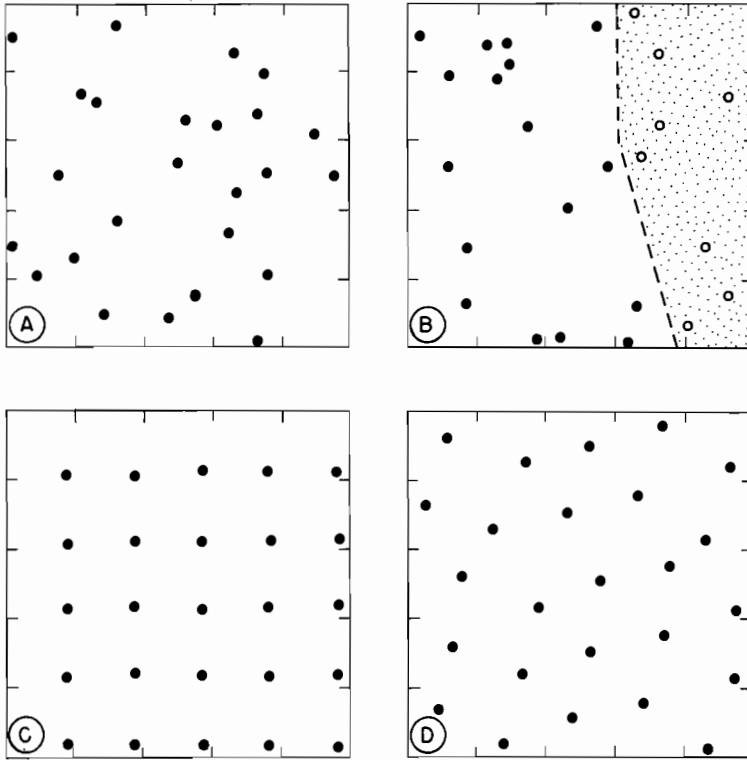


Fig. 7.4 — Plans de sondage divers : aléatoire à un degré (A); aléatoire stratifié (B); systématique (C); systématique stratifié sans alignement (D).

Sources : KRUMBEIN, 1960, p. 361; BERRY, 1962, p. 7.

2° *Sondage stratifié (ou avec stratification préalable)* : la surface étudiée est divisée en secteurs naturels (labours, terrains boisés, etc.) et les individus de l'échantillon sont tirés, indépendamment, de chaque secteur. A l'intérieur de chaque secteur, la localisation des points est déterminée par le même procédé aléatoire que dans le sondage aléatoire à un degré. La figure 7.4 B représente un échantillon de ce genre, comprenant vingt-quatre points. Dans cet exemple, on a pris dans chaque secteur un nombre d'individus proportionnel à sa surface : seize points dans le secteur de gauche

(deux tiers de la surface totale) et huit points dans le secteur de droite (un tiers de la surface totale). Cette méthode a été souvent employée dans la recherche géographique, notamment par Wood (1955) dans une étude sur l'utilisation du sol dans l'Est du Wisconsin (États-Unis).

3° *Sondage systématique* : on définit une grille de localisations régulièrement espacées; il y a un individu en chaque localisation. La figure 7.4 C représente un cas simple, comprenant vingt-cinq individus. La grille ici est un quadrillage et forme des angles droits avec les côtés de la surface étudiée. L'origine de la grille est décidée par tirage au hasard d'un point de la surface étudiée.

4° *Sondage systématique stratifié sans alignement* (fig. 7.4 D) : il s'agit d'un plan de sondage mixte, élaboré par Berry (1962, p. 7) à partir des méthodes précédentes. Il cumule les avantages théoriques du tirage aléatoire et de la stratification, et les avantages pratiques des sondages systématiques. En évitant l'alignement des points, il évite aussi la possibilité d'erreur causée par l'existence de périodicités dans les phénomènes étudiés. Sa construction est représentée sur la figure 7.5, où la surface étudiée

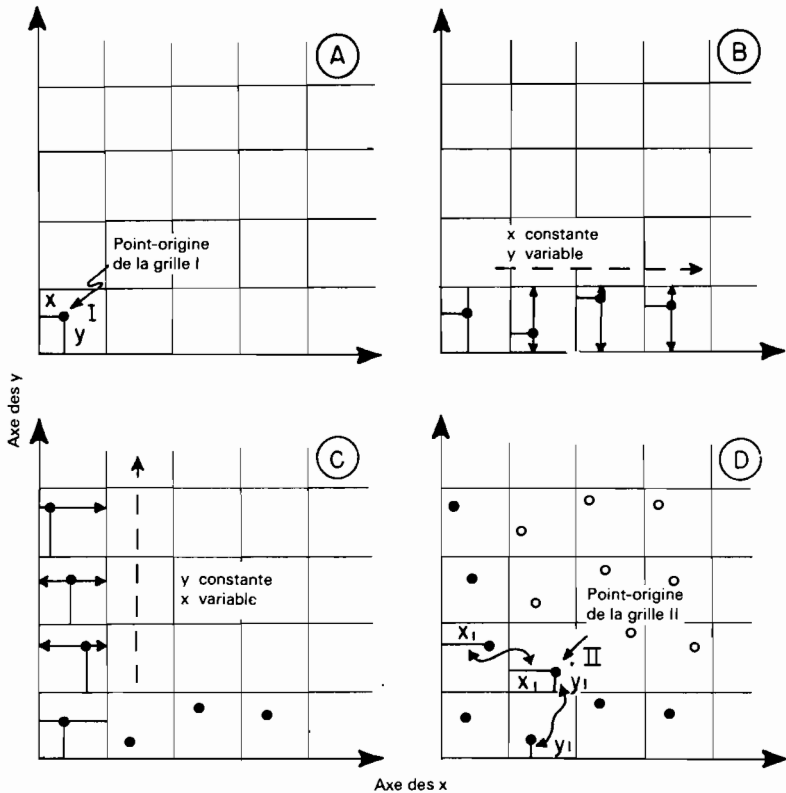


Fig. 7.5 — Étapes de la construction d'un échantillon systématique stratifié sans alignement.

Source : BERRY, 1962, p. 7.

est partagée systématiquement de façon à former un damier régulier de secteurs carrés. En commençant par le carré situé dans un angle, on détermine un point, I, en employant des nombres au hasard (fig. 7.5 A); l'axe des x et l'axe des y du secteur carré sont divisés en unités numérotées de zéro à neuf, de façon qu'un nombre au hasard compris entre zéro et 99 définisse une position en coordonnées, par rapport aux deux axes. La figure 7.5 B montre le remplissage de la ligne inférieure du plan : la valeur de x est maintenue constante tout au long de la ligne, mais celle de y varie, elle est tirée pour chaque carré d'une table de nombres au hasard. A mesure que ces nombres, 2, 9, 8... sont tirés, les points montent et descendent par rapport à l'axe des y mais restent dans la même position par rapport à l'axe des x . La figure 7.5 C représente le remplissage de la colonne de gauche : le même principe est observé, mais ici c'est la valeur de y qui reste fixe et celle de x qui change. Quand la première ligne et la première colonne sont remplies, on doit créer un nouveau point d'angle, le point II, dont la localisation (voir la figure 7.5 D) est déterminée à partir de points obtenus au cours de l'étape précédente. La coordonnée aléatoire x du point X_1 et la coordonnée aléatoire y du point Y_1 définissent la localisation du point II. Celui-ci sert alors de point de départ d'une nouvelle ligne et d'une nouvelle colonne, qui, à leur tour, sont utilisées pour la création d'un nouveau point d'angle, le point III. Ce processus continue jusqu'à ce que toutes les colonnes et toutes les lignes soient pleines. Sur la figure 7.5 D, la surface est ainsi remplie par des cercles creux.

Berry (1962, pp. 10-11) a testé, sur des cas concrets, les différents types de plans de sondage, afin de déterminer leur efficacité relative dans un échantillonnage concernant l'utilisation du sol. Pour un secteur de dix miles carrés (Coon Creek), il a testé successivement des échantillons systématiques stratifiés sans alignement (orientés de façon aléatoire les uns par rapport aux autres) et des échantillons aléatoires stratifiés, en les comparant à la variance théorique d'un échantillon aléatoire à un degré. Les résultats (tableau 7.3) montrent la grande efficacité relative de l'échantillon systématique

TABLEAU 7.3

EFFICACITÉ COMPARÉE DES PLANS DE SONDRAGE

	Coon Creek	Montfort
Caractéristiques des secteurs étudiés :		
Surface (en miles carrés)	10	46
Type d'utilisation du sol étudié	Bois	Cultures
Proportion de la surface totale	40,8 %	55,4 %
Nombre de points des échantillons	660	184
Efficacité relative des plans de sondage (variance)		
Échantillon aléatoire à un degré (variance théorique)	3,66	13,4
Échantillon aléatoire stratifié (variance observée)	0,96	11,3
Échantillon systématique (variance observée)	—	12,8
Échantillon systématique stratifié sans alignement (variance observée)	0,17	10,2

Source : B. J. L. BERRY, *Sampling, Coding, and Storing Flood Plain Data*, 1962, pp. 10-11.

stratifié : sa variance est 21,5 fois plus faible que celle de l'échantillon aléatoire à un degré, et 5,6 fois plus faible que celle de l'échantillon aléatoire stratifié.

Berry a également appliqué ces tests comparatifs à un second secteur, d'environ 45 miles carrés (Montfort). Ici, les différences d'efficacité sont moins impressionnantes, mais l'ordre reste le même : d'abord l'échantillon systématique stratifié sans alignement, puis l'échantillon aléatoire stratifié, puis l'échantillon aléatoire à un degré. Le fait que les chiffres obtenus sont beaucoup plus grands dans le cas de Montfort que dans le cas de Coon Creek peut s'expliquer parce que les types de structure spatiale ne sont pas les mêmes — grandes parcelles boisées dans le cas de Coon Creek, petites parcelles cultivées dans le cas de Montfort. Haggett et Board (1964) ont montré que la précision des estimations de surfaces d'utilisation du sol fondées sur des échantillons varie en fonction de la proportion de la surface qui est couverte par le phénomène étudié, et en fonction du degré de fragmentation de cette surface.

DIVERSES UNITÉS DE SONDAGE POSSIBLES

Dans cette discussion des divers plans de sondage possibles, on a supposé que l'unité de sondage était le *point*. Deux autres formes géométriques peuvent également être appliquées : l'unité de sondage à deux dimensions ou *quadrat* (élément d'une grille, généralement d'un quadrillage) et l'unité de sondage linéaire ou *transect*. Transects et quadrats ont été utilisés traditionnellement dans des études géographiques, notamment par Platt (1959), mais ce sont les botanistes qui en ont fait le plus grand usage sur le terrain. Le quadrat, qui est la forme d'unité de sondage la plus couramment employée en botanique, est habituellement de forme carrée, et sa taille varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Comme le montre la figure 7.6, cette variation

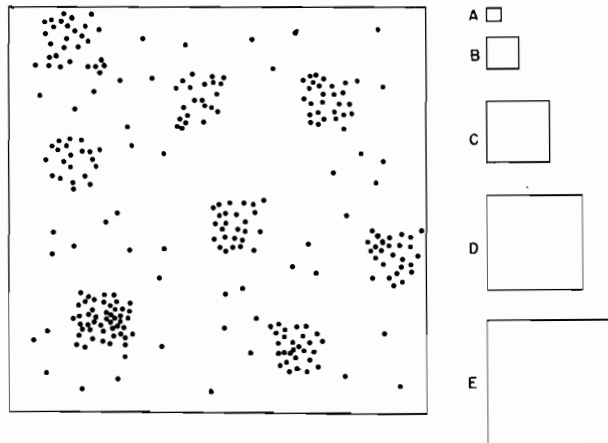


Fig. 7.6 — Relations entre la taille des quadrats, unités de sondage, et le mode de répartition. Les sondages faits avec ces unités indiquent : avec de petits quadrats (A et B) un groupement peu accentué des points; avec le quadrat intermédiaire (C) un groupement très accentué; avec les grands quadrats (D et E) une répartition régulière.

Source : KERSHAW, 1964, p. 104

de la taille du quadrat a une influence notable sur les résultats obtenus (Kershaw, 1964, p. 30), mais on peut utiliser les fluctuations des résultats pour obtenir des informations importantes sur l'échelle de la distribution étudiée (Greig-Smith, 1964, pp. 54-93). Des techniques semblables de décomposition des répartitions géographiques en composantes d'échelle sont discutées au chapitre 9.

Haggett (1963) a comparé l'efficacité du point, du quadrat et du transect pour la détermination de la proportion de couvert forestier dans l'Ouest des Midlands, à partir de cartes de l'Ordnance Survey. Dans cette région où il n'existe guère de couvert forestier (environ 5 % de la surface du sol), la précision de la méthode des transects (mesure de la longueur des intersections le long de lignes transversales) était bien supérieure à celle des deux autres méthodes. Il serait intéressant de pousser plus loin cette recherche sur les échantillons obtenus par transects, tant sur les cartes que sur le terrain.

Solution directe : la couverture exhaustive

On dispose de nos jours de plus d'informations sur la surface de la terre qu'en toute autre période antérieure. Le petit ruisseau de cartes et de recensements disponible au début du siècle est devenu une rivière qui semble grossir exponentiellement de décennie en décennie. Mais cette croissance est inégale, de sorte que les contrastes interrégionaux tendent à devenir de plus en plus vifs dans le domaine de l'information. Berry (*in* Ginsburg, 1961, p. 110) a même montré qu'un bas niveau de la documentation va de pair avec l'état de sous-développement, au point qu'il semble exister une liaison directe entre le développement économique et l'information. Même en ce qui concerne la densité de population, des observations concernant le Brésil (fig. 2.15) donnent à penser que les circonscriptions dans le cadre desquelles les données sont enregistrées forment un filet à mailles beaucoup plus fines dans les régions de peuplement dense que dans les régions relativement vides.

Les comparaisons entre époques différentes se heurtent aussi à des difficultés. Le fait même de l'amélioration de l'information peut rendre impossibles des comparaisons avec des périodes antérieures. La figure 2.13 montre, par étapes successives de trente ans, la progression du découpage administratif d'une région où la population a augmenté rapidement. On connaît beaucoup plus en détail cette région pour la dernière période (1960) que pour la première (1870), mais le degré de précision d'une comparaison dépend uniquement du découpage administratif le moins poussé, c'est-à-dire de celui de 1870. Dickinson (1963) a présenté des exemples de problèmes semblables de découpage administratif et de changement de limites concernant l'Angleterre et le Pays de Galles, et Hall (1962) a noté l'existence de ces problèmes en retraçant le développement industriel de Londres à partir des données des recensements. En ce qui concerne la couverture cartographique, Langbein et Hoyt (1959) ont montré que, même aux États-Unis, il existe quelques lacunes curieuses, tant en ce qui concerne l'étendue de la couverture que la mise à jour; les régions sommairement cartographiées sont révisées moins souvent; la figure 7.7 représente la progression relative de la cartographie de ce pays.

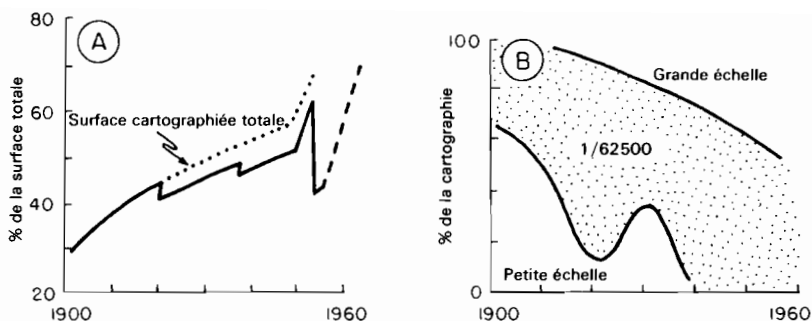


Fig. 7.7 — Progression de la cartographie des États-Unis, de 1900 à 1960 : réévaluation de la surface cartographiée totale d'après l'échelle et l'ancienneté (A); évolution des échelles des cartes produites (B).

Source : LANGBEIN et HOYT, 1959, p. 56.

Un élément d'importance capitale est venu s'ajouter à ces données « d'archives » contenues dans les cartes et les recensements : le développement des couvertures photographiques aériennes. L'histoire de la photographie aérienne remonte au moins à 1858, mais la seconde guerre mondiale et la « guerre froide », qui l'a suivie, ont eu pour effet l'achèvement et/ou la révision de la couverture photographique aérienne de toute la surface de la terre. Des progrès rapides ont été réalisés tant dans les appareils photographiques et les engins porteurs (appareils U 2, satellites) (Colwell, 1960), que dans le dessin des cartes et l'interprétation, qui bénéficient de l'emploi d'appareils électroniques (Latham, 1962). Des changements plus révolutionnaires sont annoncés : il s'agit de « systèmes de détection complètement automatiques », grâce auxquels les informations sur la surface de la terre pourront être enregistrées par des satellites, renvoyées à une base terrestre et rendues accessibles par enregistrement sur bandes magnétiques (Lopik, 1962). Il semble possible, dans un avenir proche, de remplacer la cartographie discontinue par l'enregistrement continu de certaines informations simples (par exemple la répartition des glaces).

3. L'IRRÉGULARITÉ DES UNITÉS SPATIALES DE COLLECTE

Au chapitre 2 (section 3), nous avons évoqué la grande variabilité de la taille et de la forme des *territoires*. Qu'ils soient États, comtés, communes, etc., ces territoires sont les unités fondamentales dans le cadre desquelles la plupart des données statistiques sont recueillies et publiées; ils constituent la plus courante des populations qu'étudient les géographes (fig. 7.8 A, B). Dans certains pays, notamment en Suède, on examine la possibilité d'enregistrer les données sur la population selon une grille de coordonnées xy (Hägerstrand, 1955) et un nombre croissant de géographes collectent leurs données en employant les méthodes de sondage probabiliste décrites ci-dessus. Néanmoins, il est probable qu'une très forte proportion de données de localisation essentielles

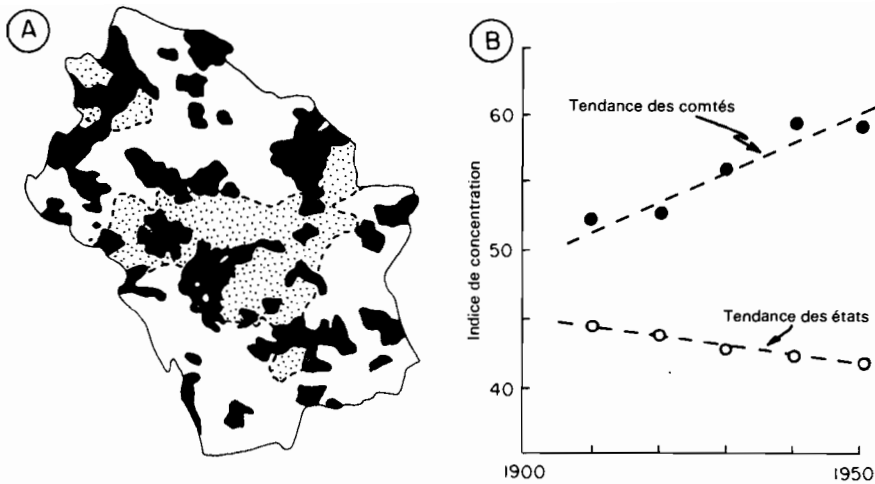


Fig. 7.8 — Contrastes produits par les différences de taille des unités de collecte : A. Pourcentages de terres arables supérieures à 50 % de la surface totale, dans le district d'Amer-sham (Sud de l'Angleterre) ($G = 6,6$), calculés par fermes (en noir) et par communes (en grisé). — B. Indices de concentration de la population, aux États-Unis; calcul par comtés et par États.

Sources : COPPOCK, 1960, p. 321; DUNCAN, CUZZORT, et DUNCAN, 1961, p. 86.

continueront à n'être disponibles que dans le cadre d'unités administratives, tout au moins pendant les quelques décennies à venir. Nous examinerons ici : 1° ce que cette irrégularité des unités spatiales de collecte implique pour l'analyse géographique; 2° comment on peut normaliser les observations recueillies dans leur cadre.

La distorsion des mesures de localisation

LES EFFETS SUR LES COMPARAISONS ENTRE RÉGIONS

L'assujettissement des observations aux caractéristiques des unités spatiales de collecte est illustré par le calcul de la densité. Duncan a étudié une question apparemment simple : quelle est la densité de population dans un secteur du cœur de Chicago centré sur la 31^e Rue et sur Indiana Avenue? (Duncan et *al.*, 1961, p. 35). Si le « voisinage immédiat » est défini par un secteur de recensement de 0,024 mile carré (soit un peu plus de 6 hectares), la réponse est 91 300 habitants par mile carré. Mais si le sens du mot voisinage est élargi au point d'inclure l'aire de communauté locale d'environ 1,5 mile carré (soit près de 4 km²), la densité de population est deux fois moins forte. Il est clair qu'on ne peut échapper à une indétermination sur des chiffres de densités qui dépendent d'unités de collecte variables. Quand il s'agit de densités comparables (par exemple quand on compare des villes), la situation devient encore plus difficile. Comme le montre le tableau 7.4, la densité de population de Chicago peut être soit plus forte soit moins forte que celle de Detroit, selon la définition spatiale qu'on adopte

pour les deux villes. Des comparaisons dans le temps présentent des contrastes encore plus frappants : la population des États-Unis paraît devenir plus concentrée si on la calcule par comtés, plus dispersée si on la calcule par États (fig. 7.8 B).

TABLEAU 7.4
DENSITÉS DE POPULATION URBAINE, CALCULÉES DANS LE CADRE DE DIVERSES UNITÉS DE RECENSEMENT EN 1950

	Nombre d'habitants par mile carré		Rapport
	Chicago (C)	Detroit (D)	
Ville proprement dite	17 450	13 249	0,76
Aire urbanisée	7 713	6 734	0,86
Aire métropolitaine (S.M.A.)	1 519	1 535	1,01

Source : O. D. DUNCAN, R. P. CUZZORT et B. DUNCAN, *Statistical Geography*, 1961, pp. 35-36.

Robinson (1956) a posé clairement le problème inhérent aux comparaisons de densités en imaginant un exemple simple. Sur la figure 7.9, les régions A, B et C sont identiques : elles ont la même surface et la même distribution des variables x et y ;

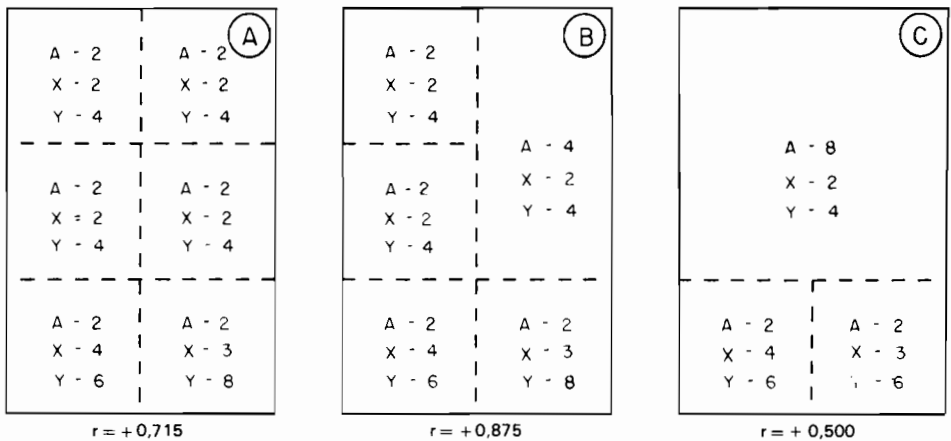


Fig. 7.9 — « Régions » prises comme exemples pour une analyse de corrélation montrant l'effet de changements de limites sur les coefficients de corrélation (r).

Source : ROBINSON, 1956, p. 234.

elles diffèrent seulement par le fait qu'elles sont plus ou moins subdivisées : le nombre des divisions va de six (de taille égale) dans le premier cas à trois (de taille inégale) dans le troisième cas. A partir des valeurs de x et y , on peut calculer le coefficient

de corrélation r (Kendall et Buckland, 1957, p. 67) pour chacune des trois régions; on obtient les valeurs $+ 0,715$ (fig. 7.9 A), $+ 0,875$ (fig. 7.9 B) et $+ 0,500$ (fig. 7.9 C). Il est clair que la valeur exacte du coefficient varie en fonction du degré de division, bien que la distribution de x et de y soit la même dans les trois régions.

Comparer des mouvements soulève des difficultés semblables; le tableau 7.5 fait apparaître des différences frappantes entre la Belgique et les Pays-Bas, en ce qui concerne la proportion de migrants quotidiens en 1947 (Chisholm, 1960, p. 187).

TABLEAU 7.5

CONTRASTES APPARENTS CONCERNANT LES MIGRATIONS QUOTIDIENNES

	Belgique (1947)	Pays-Bas (1947)
Pourcentage de migrants quotidiens	40,0	15,2
Taille moyenne (en hectares) des unités administratives ¹	1 880	6 670

1. Pondérée selon le nombre d'habitants de chaque unité administrative.

Source : M. D. I. CHISHOLM, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1960, p. 187.

A première vue, le contraste est manifeste. Mais si on considère d'une part les divisions administratives pour lesquelles les chiffres sont calculés, d'autre part la définition du migrant quotidien retenue pour les recensements, les différences commencent à apparaître moins décisives. L'unité qui sert de base de calcul pour les Pays-Bas, la *gemeente*, a une surface moyenne trois fois plus grande que l'unité belge, la *commune*. En outre, à cause de la façon dont le migrant quotidien est défini dans les recensements (un travailleur qui sort de l'unité territoriale dans laquelle il réside), plus l'unité de collecte est petite, plus est grand l'effectif total apparent des migrants quotidiens.

Si l'on n'y prend garde, il est probable que de tels effets de « mirage » se produiront plus couramment, à mesure qu'un plus grand nombre d'études quantitatives seront faites par des géographes à partir de sources statistiques de seconde main. Le statisticien M. G. Kendall a même donné l'avertissement suivant : pour certains coefficients d'association géographique (*cf.* pp. 263-265), on peut obtenir n'importe quelle valeur choisie à l'avance, en jonglant avec les limites des unités de collecte (Florence, 1944, p. 113). La question reste ouverte de savoir si des cartes médicales détaillées (par exemple celles de Murray, 1962), où les indices de mortalité sont minutieusement normalisés en ce qui concerne l'âge et le sexe, ne devraient pas être également normalisées en ce qui concerne la taille des unités spatiales de collecte dans le cadre desquelles ils sont calculés. Il faut certainement s'assurer de nouveau que certaines des zones qui, représentant de petits foyers de maladie dans le Lancashire et le Yorkshire, apparaissent « malsaines » sur ces cartes, ne doivent rien à la fragmentation du système de circonscriptions administratives locales.

LA COLLECTE DES DONNÉES

L'AMPLEUR DES VARIATIONS

Les comparaisons entre régions peuvent être plus ou moins faussées, selon la variabilité des unités spatiales de collecte des données. MacCarty (MacCarty, Hook et Knos, 1956, pp. 8-19) a étudié la variabilité de la surface des deux principales unités statistiques des États-Unis (États et comtés) (tableau 7.6). En ce qui concerne les États, les mesures de surface s'étendent de 71 289 miles carrés (Texas) à 289 miles carrés (Rhode Island); les mesures sont fortement groupées autour de la surface moyenne, qui est à peu près égale à 61 000 miles carrés. Quant aux 3 074 comtés, MacCarty les a numérotés en série, après avoir rangé les États dans l'ordre alphabétique, et en a tiré 100 par la méthode des nombres au hasard. Dans cet échantillon, la différence relative entre le plus grand comté et le plus petit est moins grande que dans le cas des États : le comté de San Bernardino, en Californie (20 160 miles carrés) n'est qu'environ 200 fois plus grand que le comté d'Ohio, en Virginie occidentale, qui est le plus petit (109 miles carrés). Dans le cas des États, le rapport correspondant est presque égal à 300. D'autre part, les comtés sont moins fortement groupés autour de la valeur moyenne, et le coefficient de variation est plus de deux fois plus grand.

Quand on emploie, dans des études de corrélation, des valeurs correspondant à des unités spatiales de collecte, des *surfaces* peuvent souvent se trouver traitées comme des *points*. Ainsi, on peut employer des données, collectées par comtés, relatives à une variable *x* (par exemple des aciéries) et à une seconde variable *y* (par exemple des usines de construction d'automobiles), et les mettre en rapport par une série de tests statistiques (chap. 10, section 2). Il est donc pertinent d'essayer de mesurer le degré de « contraction » qu'entraîne le fait de considérer des surfaces comme des points.

MacCarty a essayé de mesurer la contraction, en supposant que toutes ses unités spatiales étaient carrées. Cette hypothèse étant posée, on peut prouver que la distance moyenne entre toutes les paires possibles de points, à l'intérieur d'un carré, est donnée

TABLEAU 7.6

VARIABILITÉ DE LA TAILLE DES CIRCONSCRIPTIONS ADMINISTRATIVES¹

	États	Comtés
Nombre de circonscriptions	48	100 ²
Caractéristiques de surface (en miles carrés)		
Moyenne arithmétique	60 757	1 356
Écart-type	46 861	2 486
Coefficient de variation	67 %	183 %
Écartement moyen (en miles)	118	16

1. États-Unis, 1940.

2. Échantillon aléatoire.

Source : H. H. MACCARTY, J. C. HOOK et D. S. KNOS, *The Measurement of Association in Industrial Geography*, 1956, pp. 13-15.

par l'expression : $d = 0,52 \sqrt{A}$, où d est l'écartement moyen et A la surface du carré (MacCarty et al., 1956, p. 14). Autrement dit, la distance est égale au côté du carré multiplié par 0,52. Le tableau 7.6 résume les résultats obtenus par application de cette formule aux États-Unis; il suggère que l'on peut considérer les États comme des points à condition d'être prêt à accepter le fait que les aciéries et les usines de construction d'automobiles d'un État seront distantes les unes des autres de 118 miles en moyenne, et considérées comme identiques. En ce qui concerne les comtés, le degré de tolérance est moins élevé : environ 16 miles.

Chisholm (1960) a employé un autre type d'indice d'écartement, qui sert de base à ses études sur les déplacements professionnels dans le Nord-Ouest de l'Europe. Si la surface d'une circonscription est assimilée à celle d'un cercle, son diamètre d peut être considéré comme égal à : $d = 2 \sqrt{A/\pi}$, A étant la surface de la circonscription. Chisholm montre, à propos de chacun des sept Länder de l'Allemagne de l'Ouest, que le diamètre moyen de leurs subdivisions administratives (*Gemeinde*) varie de 3,1 à 4,3 kilomètres, mais que ceci cache des variations plus considérables : dans un Land pris isolément, le Schleswig-Holstein, les diamètres des subdivisions varient de 3 à 16 kilomètres.

La normalisation des unités spatiales de collecte : types de solution

LA PONDÉRATION PAR LES SURFACES

La conscience du danger qu'il y a à ne pas tenir compte de la taille des unités de recensement dans les études de corrélation a conduit deux auteurs, Robinson (1956) et Thompson (1957), à proposer que les observations soient pondérées selon la taille des unités spatiales dans lesquelles on les a recueillies. Ainsi, Robinson (1956, p. 236) propose de remplacer la formule traditionnelle du calcul de l'écart-type, σ , c'est-à-dire :

$$\sigma = \sqrt{\{(\Sigma X^2) / N\} - (\Sigma X / N)^2}$$

par une formule qui tient compte directement des surfaces A , c'est-à-dire :

$$\sigma_A = \sqrt{\{(\Sigma AX^2) / \Sigma A\} - (\Sigma AX / \Sigma A)^2}$$

Des exemples montrent que l'on peut ainsi obtenir les mêmes résultats, indépendamment du mode de division de la région. En employant des formules pondérées pour le calcul du coefficient de corrélation, Robinson trouve des valeurs identiques ($r = +0,715$) pour chacune des trois « régions » de la figure 7.9.

Au premier abord, ceci semblerait la solution idéale. Il est certain que, si on calcule des moyennes, des rapports ou des densités, dans le cadre de chaque circonscription, cette formule fournit une correction de surface sûre, pour cette simple raison qu'elle fait disparaître la surface : il est évident qu'en prenant un indice tel que la densité de population par mile carré et en le multipliant par un facteur de pondération qui est la surface (c'est-à-dire par des miles carrés), on revient au point de départ : la

population. Cependant, comme Duncan le fait remarquer (Duncan et al., 1961, p. 47), un point est moins clair : comment pondérer selon des surfaces quand les indices ne sont pas calculés à partir de surfaces?

LE GROUPEMENT D'UNITÉS DE COLLECTE

Lorsque les unités de collecte sont nombreuses et irrégulières, une contre-mesure assez simple consiste à les grouper en unités spatiales moins nombreuses mais plus régulières. Coppock (1960) a adopté une technique de ce genre pour étudier des données recueillies dans le cadre des paroisses, dans les Chilterns (Angleterre). Dans ce cas, non seulement les paroisses étaient de forme et de taille irrégulières, mais leurs limites coupaient à angle droit les principales limites géologiques; d'autre part, les exploitations agricoles possédaient elles-mêmes des terres à l'extérieur des paroisses dans le cadre desquelles leurs surfaces étaient recensées. Constituer des groupes de paroisses permettait, dans ce cas, d'obtenir des unités cartographiques plus régulières, et, en même temps, de réduire l'acuité du problème du chevauchement des exploitations (fig. 7.1 D) puisque, les unités étant plus étendues, la surface exploitée à l'extérieur des limites de chaque groupe de paroisses était relativement beaucoup plus faible. Il est cependant des cas (notamment celui des paroisses en forme de bandes des Chilterns, qui coupent à angle droit les principales zones naturelles) où ce regroupement ne fournit qu'un très mince avantage.

Dans chaque cas, le problème consiste à obtenir la plus grande uniformité possible des unités spatiales de collecte, tout en conservant l'essentiel des données initiales. Selon Haggett (1964) le coefficient de variation peut être employé à la fois comme indice des pertes de détails de l'information et comme indice de l'augmentation de l'uniformité; la perte de détails n'est justifiée que si elle est moindre que l'augmentation de l'uniformité. On obtient le coefficient de variation (Kendall et Buckland, 1957, p. 313) en divisant l'écart-type (σ) d'une distribution par la moyenne arithmétique (\bar{x}) et en multipliant par 100. Le tableau 7.7 présente un bon exemple relatif à une analyse de régression de données recueillies dans le cadre de comtés du Sud-Est du Brésil.

TABLEAU 7.7

GROUPEMENT D'UNITÉS ADMINISTRATIVES ¹

Caractéristiques	Comté (<i>município</i>)	Groupe- ment de comtés
Nombre d'unités	126	24
Surface moyenne (en miles carrés)	133	699
Coefficient de variation	74,20 %	7,91 %

1. Sud-Est du Brésil, 1950.

Source : P. HAGGETT, in *Geographical Journal*, 1964, p. 373.

Dans ce cas, les comtés, qui étaient 126 à l'origine, ont été assemblés en 24 groupes de comtés, mais la perte de détails (81 %) était moindre que l'augmentation d'uniformité (89 %) mesurée par comparaison des coefficients de variation. Quand les unités de collecte sont toutes bien régulières, comme dans le cas des comtés du Middle West américain (Weaver, 1956), la méthode n'est guère justifiée.

On pourra faire et tester plus vite ces assemblages quand des programmes d'ordinateurs auront été élaborés pour la vérification rapide de toutes les possibilités de combinaison et recombinaison d'unités contiguës. Eu égard à l'énormité du nombre de combinaisons possibles, il n'est pas certain que celles qu'on a employées jusqu'à présent soient les meilleures, du point de vue de l'uniformité de la taille des unités spatiales obtenues.

L'ÉLIMINATION DES UNITÉS DE COLLECTE ABERRANTES

Les problèmes posés par l'inégalité des unités statistiques spatiales peuvent aussi être réglés par l'élimination des unités aberrantes. Comme le tableau 7.8 le démontre, le coefficient de variation calculé pour l'échantillon de 100 comtés pris par MacCarty (MacCarty et *al.*, 1956, p. 13) est réduit si on supprime le plus grand comté, celui de San Bernardino. Si on élimine les quatre plus grands comtés (qui ont tous des surfaces supérieures à 500 miles carrés), l'échantillon de 96 comtés restant présente un coefficient de variation égal à 119 seulement. Ces résultats permettent de penser que des améliorations peuvent être apportées par élimination des unités spatiales aberrantes par leur grande taille, mais que le degré d'amélioration suit la loi des rendements décroissants; autrement dit, les avantages à attendre de cette méthode diminuent assez vite, une fois que les valeurs exceptionnelles ont été éliminées. Le point à partir duquel les avantages de la normalisation sont contrebalancés par la diminution de la taille de l'échantillon est à décider dans chaque cas.

TABLEAU 7.8

SOLUTION, PAR ÉLIMINATION, DU PROBLÈME DE L'IRRÉGULARITÉ DES UNITÉS SPATIALES ¹

Nombre de comtés éliminés	0	1	4
Coefficient de variation, pour les comtés restants	183	130	119

1. Échantillon de 100 comtés aux États-Unis.

Source : H. H. MACCARTY, J. C. HOOK et D. S. KNOS, *op. cit.*, 1956, p. 13.

L'EMPLOI DE GRILLES

Une des difficultés auxquelles on se heurte, quand on a affaire à des unités spatiales de collecte regroupées, est que les groupements ont eux-mêmes des formes, sinon des tailles, très irrégulières. C'est pourquoi on a essayé de recueillir les informations,

non plus dans le cadre de circonscriptions administratives, mais dans le cadre de grilles régulières.

Un exemple éminent de ce genre de recherche est l'*Atlas of the British Flora* (Perring et Walters, 1962), où les données sur la présence des plantes vasculaires indigènes ont été collectées sur le terrain dans le cadre des carrés de 100 km² délimités par la grille du British National Grid System. Ce système de grille a aussi été utilisé par Johnson (1958) dans une étude sur la localisation de la population employée dans l'industrie dans les Midlands de l'Ouest. Les systèmes de grille s'adaptent très bien à la cartographie, et les cartes floristiques (fig. 7.10) ont toutes été faites par ordinateur

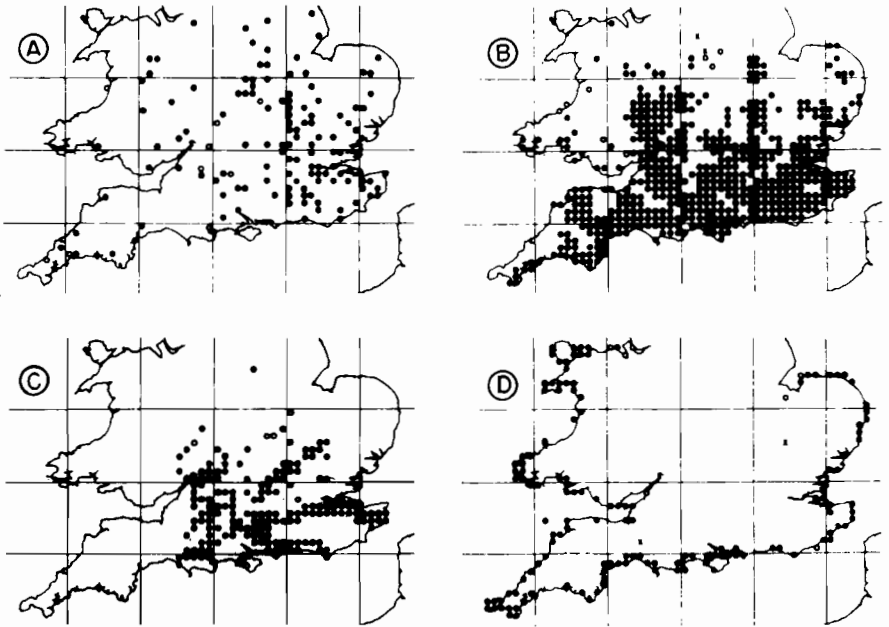


Fig. 7.10 — Cartes, faites par ordinateur, représentant la distribution de quatre espèces végétales par carrés de 10 × 10 km, dans le Sud de la Grande-Bretagne (G = 3,8).

Source : PERRING et WALTERS, 1962.

(Walters, 1957). Ceci mérite d'être pris en considération, à une époque où s'accroît la production de cartes directement à partir de données mises sur rubans perforés (Tobler, 1959). Ce système permet d'établir très facilement des comparaisons entre les données initiales et la distribution de facteurs déterminants. Il permet aussi de faire de la micro-analyse, en divisant les carrés primitifs en carrés plus petits, ou de la macro-analyse, en combinant les carrés en unités plus grandes.

Dans les deux exemples cités, les données étaient soit collectées directement dans le cadre d'une grille régulière, soit localisées avec précision, ce qui permettait de les affecter à tel ou tel carré de la grille. Lorsqu'on ne dispose de données que dans le

cadre de circonscriptions administratives irrégulières, leur report à une grille est plus compliqué. Robinson, Lindberg et Brinkman (1961, p. 214) ont employé une grille hexagonale régulière dans une étude sur les tendances de la population dans les Grandes Plaines des États-Unis (fig. 7.11). Pour reporter les données recueillies par comté dans les cases de la grille, ils ont mesuré la proportion de la surface de chaque hexagone que constituait chaque comté et multiplié cette proportion par la densité de population du comté. La somme des chiffres ainsi obtenus donnait la densité de population moyenne de l'unité hexagonale.

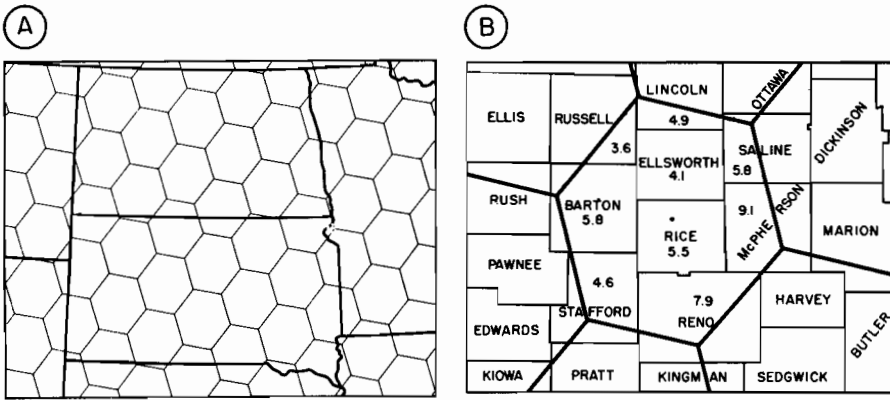


Fig. 7.11 — A. Grille hexagonale utilisée dans le Nord des Grandes Plaines (États-Unis) ($G = 2,9$). — B. Détail de la grille, dans le Centre du Kansas ($G = 4,4$) montrant les rapports entre la grille et les limites de comtés.

Source : ROBINSON, LINDBERG et BRINKMAN, 1961, p. 214.

La figure 7.11 B montre un hexagone qui, centré sur le comté de Rice (Kansas), inclut entièrement ce comté et le comté adjacent d'Ellsworth. Il inclut aussi des parties de sept autres comtés adjacents. Si on suppose que les densités moyennes de population rurale agricole calculées pour chaque comté (les chiffres sont indiqués sur la carte) sont valables, uniformément, sur toute la surface du comté, on peut multiplier chacune de ces valeurs par un pourcentage égal à la proportion de la surface de l'hexagone représentée par le comté. Par exemple, le comté de MacPherson a une densité de 9,1 habitants par mile carré, et constitue 12 % de la surface de l'hexagone : sa contribution à la densité résultante de l'hexagone est égale à : $9,1 \times 0,12 = 1,09$. La somme des produits ainsi calculés pour chaque comté donne, pour l'ensemble de l'hexagone, une densité égale à 5,94 (tableau 7.9).

Cette méthode a été utilisée d'abord par Thiessen, en 1911, pour calculer les précipitations moyennes sur les bassins-versants; son exactitude repose sur deux préalables : 1° l'uniformité de la densité de population (ou tout rapport ou indice semblable) dans tout le comté; 2° le nombre des comtés rassemblés dans chaque hexagone. Lorsque chaque hexagone contient un certain nombre de comtés entiers, l'hypothèse d'uniformité devient moins limitative, car les comtés « fractionnés » entrent pour

TABLEAU 7.9

CALCUL DE LA DENSITÉ DE POPULATION MOYENNE DANS UN HEXAGONE ¹

Comtés	Densité de population rurale agricole (a)	Proportion de l'hexagone (b)	Produit a × b
Rice	5,5	0,17	0,93
Ellsworth	4,1	0,17	0,70
Reno	7,9	0,16	1,26
Barton	5,8	0,13	0,75
Stafford	4,6	0,12	0,55
MacPherson	9,1	0,12	1,09
Saline	5,8	0,06	0,35
Lincoln	4,9	0,04	0,20
Russell	3,6	0,03	0,11
Total	—	1,00	5,94

1. Le centre de l'hexagone est dans le comté de Rice, au centre du Kansas (États-Unis, 1950).

Source : A. H. ROBINSON, J. B. LINDBERG et L. W. BRINKMAN, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1961, p. 214.

une moins grande part dans le calcul de la valeur globale. Encore une fois, il s'agit d'un problème d'optimisation, qu'il est possible de résoudre par programmation linéaire, et dans lequel jouent d'une part la taille de chaque unité de la grille (pour laquelle on obtient un résultat d'autant plus sûr qu'elle est plus grande), d'autre part le nombre de ces unités (nombre qu'il s'agit d'augmenter, en diminuant la taille des hexagones).

L'AJUSTEMENT DE SURFACES

Il est évident que les méthodes précédentes (assemblage, élimination, grille géométrique) entraînent obligatoirement une certaine perte de détails car les unités obtenues après transformation sont moins nombreuses que les unités primitives. Le problème suivant a été récemment posé : comment faire des cartes qui, après généralisation, conservent *tous* les points directeurs initiaux? On a pris conscience de ce problème d'abord en météorologie, où les types de temps généraux doivent être cartographiés à partir de stations d'observation dont la répartition est irrégulière et la localisation souvent particulière (Holloway, 1958), et dans la prospection pétrolière, où l'on peut avoir à cartographier les caractéristiques d'un bassin ou d'un faciès à partir de renseignements obtenus par des puits ou des forages irrégulièrement répartis. Krumbein (1959-B) a expliqué à l'aide d'exemples comment on peut utiliser l'ordinateur pour calculer une formule algébrique décrivant la surface moyenne qui « s'ajuste » le mieux aux points directeurs irrégulièrement répartis. Cette surface polynomiale de « meilleur ajustement » emploie toutes les observations disponibles, et en tire une image généralisée; elle est particulièrement importante quand il existe

des lacunes dans la répartition spatiale des observations; par exemple, Whitten (1959) l'a employée pour compléter la « stratigraphie fantôme » de zones cristallines non relevées. Ses potentialités sont énormes en ce qui concerne la géographie humaine (Chorley et Haggett, 1965-B) : les surfaces généralisées, de densité de population par exemple, peuvent être calculées à partir d'une répartition très irrégulière des « points directeurs », c'est-à-dire des centres de gravité des unités spatiales de collecte irrégulières. Des exemples d'application de ce type d'analyse sont donnés au chapitre 9 (pp. 303-309).

LA DESCRIPTION

Nous examinons dans ce chapitre quelques-unes des techniques permettant de décrire les structures spatiales révélées par les données collectées. Deux possibilités se présentent : employer la méthode traditionnelle de description géographique, la cartographie, et conserver ainsi cet élément essentiel qu'est la localisation absolue; ou bien, pour employer les méthodes statistiques, mettre l'accent sur la localisation relative, c'est-à-dire sur les relations entre les parties et l'ensemble de l'organisation spatiale. Les techniques d'analyse statistique diffèrent selon la nature géométrique des formes de localisation — point, ligne, surface — que nous examinerons successivement.

1. LA DESCRIPTION DE LA LOCALISATION ABSOLUE : LES SYSTÈMES CARTOGRAPHIQUES

Pour décrire la localisation absolue de données, l'une des méthodes les plus commodes et les plus couramment employées consiste à recourir à l'un des systèmes cartographiques traditionnels. A vrai dire, le rôle des cartes et de leur analyse dans l'enseignement de la géographie, à l'école et à l'Université, est si important qu'il est présomptueux de tenter une présentation en un demi-chapitre. Mais d'excellents travaux existent, qui exposent les systèmes cartographiques, notamment ceux de Robinson (1960) et de Schmid et MacCannell (1955). Nous exposons ici quelques-unes des difficultés d'utilisation des cartes traditionnelles pour décrire les schémas de localisation, notamment celles qui proviennent du niveau de mesure des données initiales, du nombre des composantes à représenter sur la carte, et des problèmes familiers d'échelle et de projection.

Niveaux de mesure et cartographie

Les types de cartes que les géographes peuvent dessiner sont directement subordonnés au niveau de mesure des données. La notion de « niveau de mesure » a des applications fondamentales en statistique (tableau 10.5), mais son importance pour la cartographie n'a généralement pas été perçue. Le principe de base de la théorie de la mesure est qu'il existe quatre échelles — les échelles nominale, ordinale, d'intervalles et de rapports — dont les propriétés sont radicalement différentes (Siegel, 1956, pp. 21-30).

Le niveau de mesure le plus bas est celui de l'*échelle nominale ou classificatoire* : les nombres ou les symboles employés servent uniquement à identifier des objets (par exemple des types d'utilisation du sol : bois, champs, etc.). La seule propriété formelle des éléments d'une telle classe est l'équivalence (=), et la gamme d'opérations cartographiques possibles est très limitée; la carte « nominale » (qualitative) n'est en général qu'une mosaïque de secteurs différemment colorés ou grisés, chaque nuance de grisé ou de couleur représentant une classe bien définie.

A l'*échelle ordinale*, nombres et symboles sont utilisés à la fois pour identifier des objets et pour décrire leurs relations avec d'autres objets. Quand on identifie une route comme « route de classe B » en Grande-Bretagne, non seulement on emploie un symbole pour identifier une classe de route, mais on la met dans une certaine relation (une « relation d'ordre ») avec d'autres routes placées à un échelon supérieur (par exemple les autoroutes et les routes de classe A) ou inférieur (par exemple les routes secondaires). Il existe une différence formelle entre les échelles nominale et ordinale : la seconde possède non seulement la relation d'équivalence (=) mais aussi la relation « plus grand que » ou « plus petit que ». Les échelles ordinales se rencontrent couramment dans les conventions cartographiques, où des symboles de taille différente servent à indiquer des unités de peuplement classées selon leur taille (par exemple : ville, bourg, village, hameau); ou des voies ferrées de classes différentes; ou des zones d'agriculture plus ou moins intensive (par exemple : classe I, classe II..., classe *n*).

La différence entre les deux échelles du niveau supérieur, l'échelle d'intervalles et l'échelle de rapports, a une importance cruciale dans certaines opérations statistiques (tableau 10.1); mais, comme la plupart des données spatiales sont mesurées selon l'échelle de rapports, son importance est moindre en cartographie. La différence fondamentale entre les deux échelles est la suivante : dans l'échelle d'intervalles, il n'existe pas de zéro absolu, alors que l'échelle de rapports comporte un zéro absolu. Soit deux points situés sur une échelle de temps (par exemple : « en 1900 » et « en 1950 ») et sur une échelle de distance (par exemple : « à 1 900 miles » et « à 1 950 miles » de Londres); les différences entre les deux points sont les mêmes, 50 ans et 50 miles, mais alors qu'il est possible de dire, à propos de la mesure de distance, que « 1 950 miles » est 1,02 fois plus grand que « 1 900 miles », un énoncé semblable est impossible au sujet des années 1900 et 1950, du fait que l'origine de l'échelle de temps est un zéro parfaitement arbitraire. D'un point de vue mathématique (mais évidemment pas d'un point de vue théologique), l'origine pourrait tout aussi bien être 1800, ce qui rendrait la deuxième date une fois et demie plus grande que la première. Ainsi, dans l'échelle d'intervalles, le rapport de deux points quelconques dépend de l'unité de mesure; dans l'échelle de rapports, il est indépendant de l'unité de mesure. En termes formalisés, les deux échelles satisfont aux propriétés : 1^o équivalence; 2^o ordre; 3^o connaissance du rapport de deux intervalles quelconques (par exemple le rapport de « de l'année 1850 à l'année 1875 » à « de l'année 1900 à l'année 1950 » est 1/2). Mais l'échelle de rapports est seule à satisfaire à la propriété supplémentaire; 4^o connaissance du rapport de deux valeurs quelconques de l'échelle.

La plupart des données géographiques sont mesurées au niveau le plus élevé, celui de l'échelle de rapports; elles sont représentées, en cartographie, par des cartes en isarithmes de faits tels que la densité de population, ou par des cartes de flux quand il s'agit de l'importance de la circulation, ou par des cartes du peuplement où chaque symbole est en rapport direct avec l'effectif de population. L'histoire de la recherche géographique est aussi l'histoire de l'élévation du niveau de mesure des données; par exemple le remplacement des signes indiquant les « hauts » et les « bas » (échelle ordinale) par les courbes de niveau tracées avec précision.

La figure 8.1 montre comment se traduisent, dans la méthode cartographique, trois niveaux de mesure. Il s'agit de la répartition d'un type d'utilisation du sol (bois par exemple) dans une surface de seize unités. A l'échelle nominale, la répartition des bois est représentée par des « un » et des « zéro », qui signifient « présence » ou « absence » (fig. 8.1 A). Aux échelles ordinale et de rapports, cette information est appliquée aux seize sous-régions de la surface totale. Dans le premier cas (échelle ordinale), les sous-régions sont rangées, de 1 à 16, selon la quantité de terrains boisés existant à l'intérieur de leurs limites; des courbes d'égale valeur sont tracées à 4,5, à 8,5 et à 12,5; les surfaces de valeur supérieure à 8,5 sont en grisé (fig. 8.1 B). Dans le second cas, le pourcentage de chaque sous-région couvert par des bois est mesuré, selon l'échelle de rapports; des courbes d'égale valeur sont tracées à 25, 50 et 75 % et les surfaces où le pourcentage dépasse 50 sont en grisé (fig. 8.1 C). A mesure que s'élève le niveau de mesure, la carte en isarithmes correspondante devient à la fois plus complexe et plus précise; vue de la droite vers la gauche, la figure fait apparaître

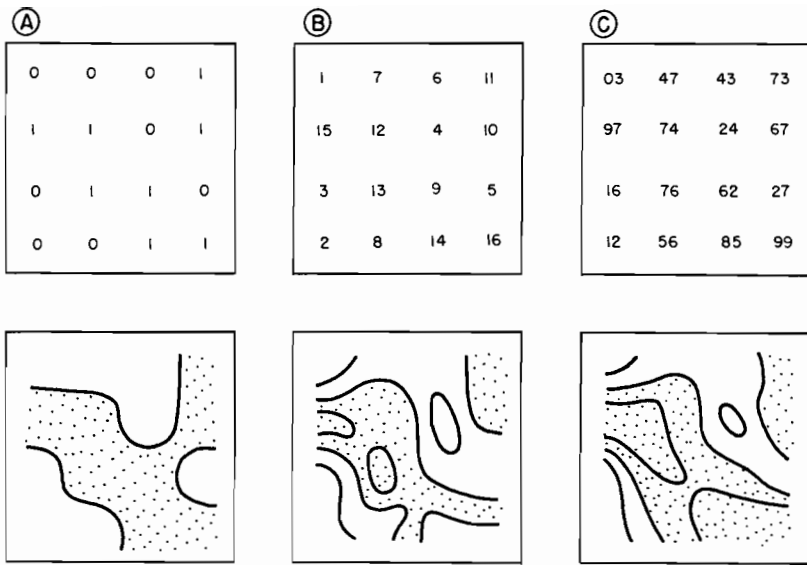


Fig. 8.1 — Rapports entre les échelles de mesure nominale (A), ordinale (B) et de rapports (C) et les isarithmes. Les surfaces situées au-dessus de la valeur moyenne sont en grisé.

l'incidence de l'abaissement des niveaux de mesure, et la part d'erreur qui leur est inhérente.

Les cartes à composante unique : surfaces définies par des isarithmes

La plupart des données spatiales, qu'il s'agisse d'implantation ponctuelle, linéaire ou à deux dimensions, peuvent être converties, par l'intermédiaire de calculs de densité, en une forme continue, et représentées par une carte en isarithmes. Une fois sous cette forme, il est possible de les considérer, comme le fait Robinson (1961-B), simplement comme une surface statistique, où la hauteur (par exemple la densité de population rurale) varie à peu près de la même façon que l'altitude sur les cartes topographiques. Alors, *l'analyse morphométrique* (traditionnellement restreinte aux formes topographiques) *peut être en grande partie applicable à la « topographie » de toutes les surfaces définies par des isarithmes*. L'étude conjointe, par les géomorphologues et les géographes humains, de techniques communes d'analyse des surfaces reste l'une des directions de recherche les plus prometteuses pour les années à venir.

Bien que de telles cartes en isarithmes aient trois dimensions, en ce sens qu'une répartition (mesurée dans la dimension z) varie de façon continue par rapport à un plan (dimensions x et y) nous en parlons ici comme de cartes à composante unique, parce qu'une seule composante est cartographiée sur le plan de référence. Sur des cartes de ce genre, la méthode la plus courante, pour représenter les variations dans

LA DESCRIPTION

la dimension z , consiste à employer des courbes d'égale valeur. Il est clair que des cartes ainsi faites présupposent que la répartition est une variable continue; mais, comme Warntz (1959) l'a montré, il est très avantageux, du point de vue théorique et du point de vue pratique, de considérer ces variations comme continues, même si, dans la réalité, elles apparaissent discontinues. A vrai dire, ce n'est pas la réalité, mais plutôt le choix de l'échelle et du modèle particulier à tester qui conduit à considérer la population soit comme formée de « quanta » discrets, soit comme un « potentiel » continu.

Trois problèmes se posent à propos de l'interprétation des cartes en isarithmes : le nombre des isarithmes, leur espacement, leurs rapports avec le système de points directeurs.

LE NOMBRE DES ISARITHMES

Aucune réponse définitive ne peut être donnée à la question du nombre de courbes à employer pour faire une carte en isarithmes; mais il semble logique qu'une relation systématique existe entre ce nombre et le nombre de points directeurs. Une carte aux isarithmes soigneusement tracées et établie à partir d'un petit nombre de points directeurs donne une impression de précision qui n'est pas garantie par l'information sur laquelle elle repose; inversement, employer très peu d'isarithmes quand les variations de la surface étudiée sont bien connues relève du gaspillage.

On peut faire référence à un problème semblable en statistique. Selon Brooks et Carruthers (1953, p. 13), le nombre de classes, dans un histogramme, ne devrait pas dépasser le quintuple du logarithme du nombre d'observations. En cartographie, ceci signifierait qu'une carte faite à partir de 500 points directeurs ne devrait pas être divisée en plus de 13 classes; pour représenter ces 13 classes, il faudrait évidemment 12 isarithmes. Comme Brooks et Carruthers l'indiquent, la relation qu'ils proposent n'a rien de sacré; il s'agit simplement d'un rapport raisonnable entre la précision de la carte et la masse des données disponibles, d'une règle approximative susceptible d'être plus largement appliquée.

Cette sorte de règle a un aboutissement logique : le nombre de points directeurs est déterminé par la valeur de l'intervalle entre isarithmes. Pour une carte à dix isarithmes, par exemple, on peut soutenir, selon une règle inverse de la précédente, qu'il faudra au moins 150 points directeurs.

L'ESPACEMENT DES ISARITHMES

Sur les cartes topographiques, les courbes de niveau sont normalement tracées à intervalles de hauteur égaux, tout au moins en ce qui concerne les altitudes basses et moyennes. Sur les cartes statistiques faites à partir de données spatiales, l'égalité des intervalles peut ne pas présenter le même intérêt. Jenks et Coulson (1963) ont étudié une région du Centre du Kansas, où la densité de population varie de 1,6 à 103,4 habitants par mile carré et où la concentration spatiale des fortes valeurs est telle que des cartes à intervalles égaux ne donnent guère d'informations. Sur une

telle carte, avec sept intervalles égaux, les limites de classe étant à 16,0, à 30,6, à 45,1, à 59,7, à 74,2 et à 88,7 habitants par mile carré, quatre classes seulement sont réellement représentées sur la carte, tandis que plus de 90 % de la surface de la carte est dans une seule classe.

Des problèmes de représentation de petits secteurs où les cotes sont de valeur élevée, situés à l'intérieur de grandes étendues où les cotes sont de valeur faible, se posent très couramment en géographie humaine, et ont soulevé un intérêt considérable en cartographie. Selon Robinson (1960, pp. 190-194), le choix des intervalles entre isarithmes est facilité par le tracé d'une courbe des fréquences cumulées rapportant la première composante (la surface xy) à la seconde (les valeurs z). Pour ce faire, il faut placer les unités de collecte des données (par exemple des comtés) dans

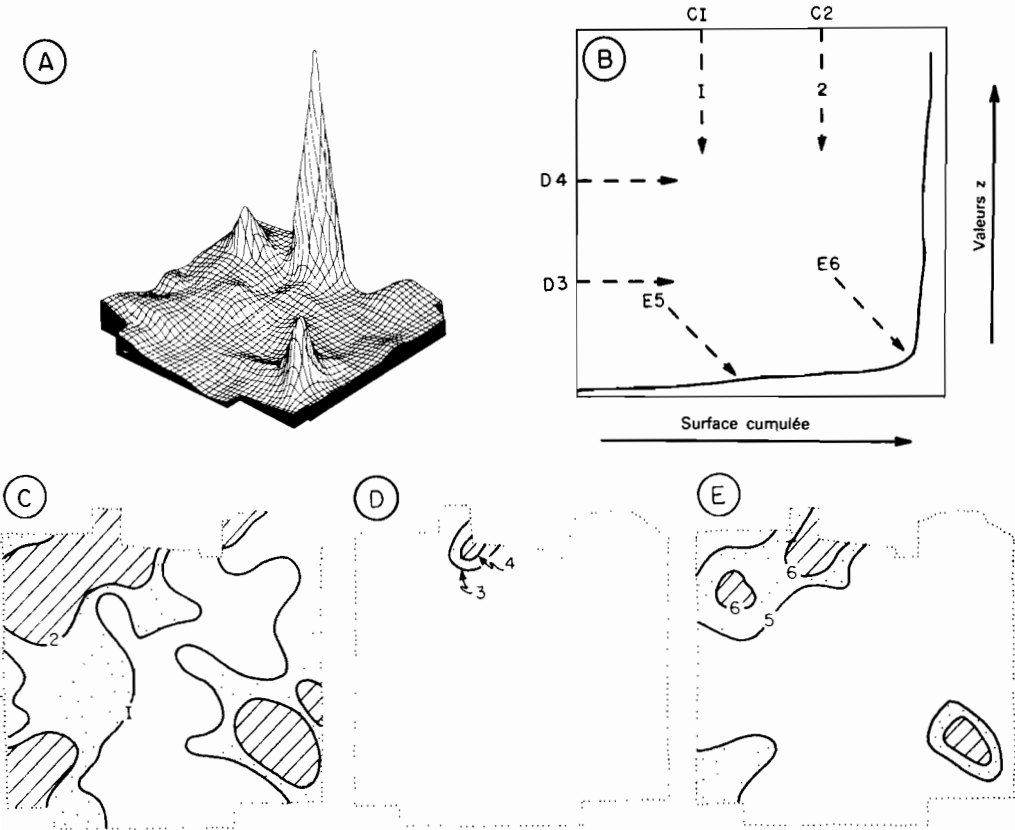


Fig. 8.2 — A. Surface statistique lissée. — B. Graphique rapportant les valeurs z à la surface. — C. Carte en isarithmes espacées de façon à former des surfaces égales. — D. Carte en isarithmes dont l'espacement est déterminé par des intervalles égaux des valeurs z . — E. Carte en isarithmes dont l'espacement est déterminé par des cassures significatives de la courbe B.

Source : JENKS, 1963, pp. 16, 19.

l'ordre de leurs valeurs z (par exemple la densité de population des comtés), et faire progressivement la somme de leurs surfaces, ce qui donne la courbe des fréquences cumulées (fig. 8.2 B). Il existe trois manières de choisir les intervalles entre isarithmes : 1^o répartir les valeurs z en classes de même amplitude; 2^o répartir les valeurs xy (les surfaces) en classes de même amplitude; 3^o répartir les valeurs z en classes correspondant aux sections de pente uniforme de la courbe. La première méthode (fig. 8.2 D) présente l'avantage de l'uniformité et facilite les comparaisons entre régions; la deuxième méthode (fig. 8.2 C) offre l'avantage de « répandre » l'information de façon très régulière sur la carte mais elle rend difficiles les comparaisons entre régions. La troisième méthode, qui utilise les cassures significatives de la courbe des fréquences cumulées (fig. 8.2 E), donne l'image la plus fine des variations locales, dans le détail, mais elle n'a pas les qualités des deux méthodes précédentes : facilité des comparaisons, répartition régulière de l'information.

Une autre façon de choisir les intervalles entre isarithmes est peut-être la plus efficace : considérer la répartition représentée par la carte comme une distribution statistique de fréquences telle que l'on peut appliquer à la concentration spatiale (c'est-à-dire la dissymétrie, en langage statistique) une transformation appropriée. Les valeurs z transformées peuvent former une suite géométrique (par exemple 2, 4, 8, 16) lorsque la localisation des fortes valeurs est concentrée à l'extrême, ou une suite en arc-sinus (par exemple : 3, 12, 25, 42, 59, 75, 88, 97 %) lorsque les valeurs se groupent aux deux extrémités (Fisher et Yates, 1957, p. 70). Dans chaque cas, la transformation est adaptée à la forme de la distribution, et, puisque les intervalles entre isarithmes ainsi obtenus sont fondés sur une distribution mathématique connue, il est facile de comparer avec d'autres cas.

LA DISPOSITION DES POINTS DIRECTEURS

La précision des cartes en isarithmes dépend évidemment de la précision initiale des cotes et du nombre de cotes établies pour une surface donnée. Blumenstock (1953) a traité ce problème en détail à propos des cartes météorologiques; son analyse est valable pour toutes les cartes de phénomènes géographiques. Cependant, comme Mackay (1953) l'a montré, la précision des isarithmes pose aussi des problèmes liés non aux données initiales, mais à la disposition des points pour lesquels les données sont enregistrées ou « points directeurs ». La figure 8.3 A représente les quatre valeurs initiales, réparties en quatre points de croisement d'une grille, à partir desquelles il s'agit de tracer par interpolation des isarithmes. A moins de disposer d'autres informations, on trace les isarithmes par interpolation géométrique, en supposant que le gradient, entre deux points, est linéaire. Cela revient simplement à calculer une répartition proportionnelle : par exemple, pour tracer une isarithme de valeur 20 entre des points directeurs dont les valeurs respectives sont 16 et 25 %, et qui sont séparés par une distance d , on la fait passer par un point situé sur le segment de droite joignant les deux points directeurs à une distance du point de valeur 16 égale aux quatre neuvièmes de d . Mais ce procédé n'est pas à toute épreuve. Les figures 8.3 B et 8.3 C représentent deux interprétations possibles du tracé de l'isarithme 20 : les surfaces de valeur

supérieure à 20 (en grisé) forment une crête qui traverse la carte en diagonale dans un cas, deux crêtes séparées par un col étroit dans l'autre. Les deux interprétations sont valables du point de vue de la méthode d'interpolation géométrique.

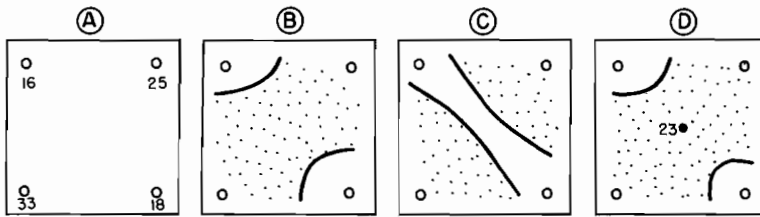


Fig. 8.3 — Problèmes d'indétermination posés par l'interpolation d'isarithmes entre quatre points directeurs formant une grille régulière.

Source : MACKAY, 1953.

Il est possible de résoudre ce cas d'indétermination en supposant l'existence, au centre du carré, d'un point directeur secondaire de valeur égale à la moyenne des valeurs des quatre points d'angle, c'est-à-dire 23. Cette valeur permet de vérifier les tracés d'isolignes des figures précédentes : la « crête » continue se trouve confirmée (fig. 8.3 D). Il convient de souligner que de tels cas d'indétermination proviennent de l'emploi de treillis carrés pour la localisation des points directeurs (c'est le type courant de cadre de référence, celui de la National Grid britannique); quand il est possible de choisir une autre disposition des points directeurs, il est très avantageux d'adopter une disposition triangulaire, qui supprime cet inconvénient. Reste à savoir s'il vaut la peine d'adopter un dispositif plus complexe des unités spatiales de collecte, sous la forme de losanges (fig. 8.4 B), d'hexagones (fig. 8.4 C) ou de rectangles décalés

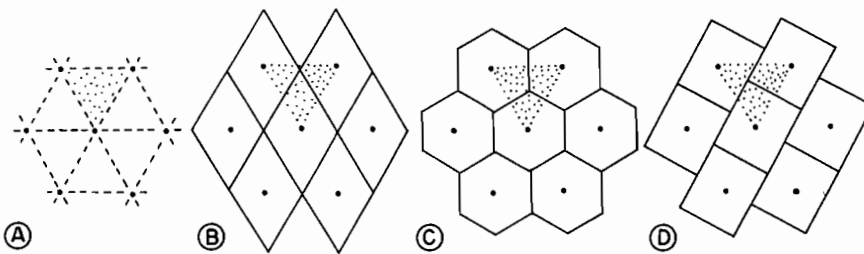


Fig. 8.4 — Formes d'unités spatiales de collecte correspondant à des systèmes triangulaires de points directeurs.

Source : MACKAY, 1953.

(fig. 8.4 D). Une étude récente sur les densités de population dans les Grandes Plaines des États-Unis (Robinson et *al.*, 1961) confirme l'efficacité du système hexagonal (*cf.* pp. 235-236).

Les cartes à plusieurs composantes

Quand il s'agit des variations spatiales, non d'une seule variable mais de toute une série de variables, les problèmes cartographiques deviennent beaucoup plus ardues. Certes, des procédés ingénieux permettent de superposer des cartes en isarithmes simples — superposition de courbes de couleurs différentes, emploi de transparents en matière plastique —, mais, très vite, la diminution de l'intelligibilité l'emporte sur l'avantage d'avoir un document plus complet. Même les plus réussies de ces cartes, comme les cartes des maladies en Inde établies par Learmonth et Pal (1959), parviennent rarement à représenter distinctement plus de deux facteurs.

C'est pourquoi la recherche s'est orientée vers les procédés qui consistent à décomposer les systèmes complexes à plusieurs dimensions, *avant* d'atteindre le stade de la cartographie. De cette façon, la complexité statistique remplace la complexité cartographique, mais les difficultés décrites ci-dessus sont tournées. Nous allons décrire quatre des méthodes les plus efficaces.

LES GRAPHIQUES TRIANGULAIRES

Quand les phénomènes à cartographier peuvent être classés en trois composantes exprimées en pourcentages, il est possible d'utiliser des diagrammes ou graphiques triangulaires. La recherche sur graphiques triangulaires s'est développée en géologie : les roches sédimentaires peuvent être décomposées en trois composantes (sable, limon, argile) exprimées en pourcentage du poids total de l'échantillon. De même, il est possible d'étudier l'utilisation du sol en distinguant trois types qui se partagent l'aire étudiée (par exemple : bois, cultures, reste) et en mesurant la part de chaque type dans la surface totale.

Sur le graphique triangulaire de la figure 8.5 A, chacun des trois sommets représente la valeur 100 % de chacune des trois composantes A, B et C, et les points situés à l'intérieur du triangle représentent des combinaisons des trois composantes. Par exemple, le point X représente une combinaison de 60 % de A, 20 % de B et 20 % de C. Il est clair que plus le point est proche du centre du triangle, plus le mélange est équilibré, et que plus le point est proche de l'un des sommets du triangle, plus est marquée la prépondérance d'une seule composante.

Les graphiques triangulaires ont été utilisés occasionnellement, dans des ouvrages ne traitant pas de géologie, pour décrire des compositions. Selon Clark (1940), le partage de la main-d'œuvre d'un pays entre les activités primaire, secondaire et tertiaire peut fournir un indice sensible de la croissance économique, et la composition observée dans chaque région peut être indiquée par un point sur un graphique triangulaire. Cependant, cette méthode n'est pas employée à la mesure de ses possibilités.

Forgotson (1960) a décrit divers modes d'utilisation du graphique triangulaire qui sont appliqués en géologie et pourraient être introduits dans nos études. Pelto (1954) est l'auteur d'une des techniques les plus simples, qui consiste à utiliser une *fonction classificatoire* (ou relation d'équivalence) pour partager le triangle en sept classes

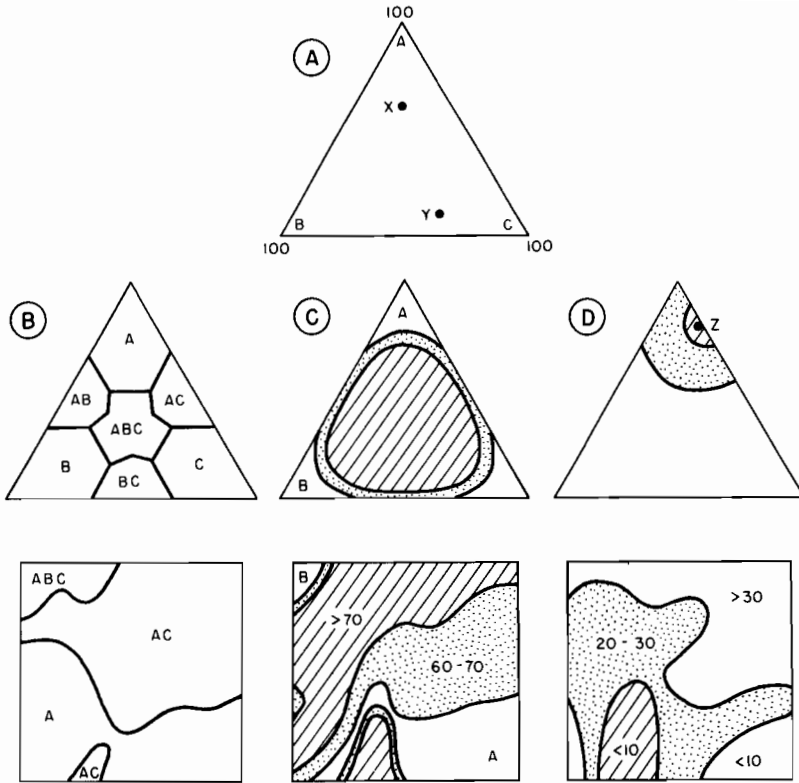


Fig. 8.5 — Emploi de graphiques triangulaires pour la cartographie de systèmes à trois composantes.

B. Méthode de la fonction classificatoire. — C. Méthode de l'entropie. — D. Méthode des écarts de composition.

Les cartes placées au-dessous de chaque graphique présentent l'application des trois méthodes aux mêmes données de composition.

Source : FORGOTSON, 1960, pp. 88-95.

ou secteurs : trois secteurs à composante unique (A, B, C), trois secteurs à deux composantes (AB, AC, BC), et un secteur à trois composantes (ABC). A l'intérieur de chaque secteur, des lignes de pourcentage indiquent l'importance relative d'une composante. Dans ce système, le point X de l'exemple ci-dessus tombe dans la classe A et le point Y dans la classe BC (fig. 8.5 B). Une autre technique, due aussi à Peltó, vise à déterminer des limites quantitatives de composition, et non des classes, en utilisant le concept d'entropie. Le terme « entropie », ici, fait simplement référence au degré de mélange des composantes; les fortes valeurs d'entropie se trouvent près du centre du triangle, et les faibles valeurs près des trois sommets. Sur la figure 8.5 C sont tracées les courbes correspondant aux valeurs 70 et 60 de l'entropie : X et Y correspondent à des valeurs d'entropie assez semblables; Peltó suggère, quand on

LA DESCRIPTION

cartographie ces valeurs, de dessiner entre les isarithmes des grisés distincts, pour faire ressortir les valeurs élevées correspondant aux trois sommets.

Krumbein (1955-A) a proposé une technique simple, celle des *écarts de composition*, qui permet de cartographier la relation entre les points du triangle et un point de référence donné. Ce point de référence peut être soit la composition moyenne de la région étudiée, soit la composition optimale; sur la figure 8.5 D, c'est le point Z, qui correspond à la composition : 80 % de A, 0 % de B, 20 % de C. Des courbes d'égale valeur, qui sont des cercles concentriques, sont tracées de façon à faire apparaître les écarts par rapport au point de référence. Cette technique présente un inconvénient : elle montre la valeur des écarts, mais pas leur direction; il est donc nécessaire de la comparer à des cartes faites à partir d'une fonction classificatoire. Des cartes établies d'après ces trois méthodes — fondées sur une fonction classificatoire, sur le concept d'entropie, sur le calcul d'écarts de composition — sont présentées à titre d'exemple sur la figure 8.5, au-dessous des graphiques triangulaires correspondants.

L'INDICE DE COMBINAISON

Un problème typique de cartographie à plusieurs composantes se pose au géographe qui travaille sur des mesures de surface. Il peut avoir à étudier une gamme d'une douzaine de cultures pratiquées selon des assolements (combinaisons) différents dans les diverses parties de son aire d'étude. Comment présenter une telle diversité sur une seule carte? Weaver (1954) a proposé un *indice de combinaison des cultures*, qui permet de trier les cultures dominantes et d'éliminer les cultures secondaires. Weaver étudiait la répartition des cultures dans le Middle West, aux États-Unis, et sa méthode a été employée dans d'autres régions surtout à propos de l'agriculture (par exemple par Thomas, en 1963, dans une étude sur l'agriculture au Pays de Galles pendant les guerres napoléoniennes); mais cet indice n'est pas, en soi, limité aux faits agraires; il peut s'appliquer à n'importe quelles données exprimant la distribution de plusieurs composantes sous la forme de pourcentages; il est donc, ici, décrit simplement en tant qu'*indice de combinaison*.

Le calcul de l'indice de combinaison est un procédé simple, qu'illustre la figure 8.6. Le problème donné ici à titre d'exemple consiste à déterminer l'indice de combinaison convenant à une paroisse du Breconshire où, en 1801, six cultures — blé, avoine, orge, pois, pommes de terre et navets — couvraient l'ensemble des terres cultivées selon les pourcentages respectifs suivants : 32,0; 31,5; 17,1; 11,7; 4,4 et 3,3 (Thomas, 1963, p. 81). La courbe caractéristique de la distribution de ces six cultures est la ligne en tireté de la figure 8.6.

Le problème consiste à calculer le nombre des cultures qui, parmi les six existantes, doivent être retenues pour faire la carte : faut-il indiquer cette paroisse comme une unité à une culture (blé) ou comme une unité à quatre cultures (blé-avoine-orge-pois)? Weaver répond à cette question en proposant une série de modèles : dans un secteur modèle à une culture, 100 % des terres cultivées seraient consacrées à cette culture, et 0 % aux autres; dans un secteur modèle à deux cultures, 50 % des terres cultivées seraient consacrées à chacune des deux cultures, et 0 % aux autres; dans un

secteur modèle à trois cultures, 33,3 % des terres cultivées seraient consacrées à chacune des trois cultures, et 0 % aux autres; et ainsi de suite. Ces distributions idéales sont représentées, sur la figure 8.6, par des courbes en trait plein ininterrompu. Weaver, utilisant ces courbes idéales comme étalons, trouve ensuite, par comparaison, laquelle ressemble le plus à la courbe représentant la distribution réelle. Pour faire cette comparaison, il emploie la méthode statistique classique des « moindres carrés » : il mesure les écarts (f) représentés par les segments verticaux sur la figure 8.6, les élève au carré (f^2) et fait la somme des carrés (Σf^2). Le modèle qui correspond le mieux aux courbes réelles est celui pour lequel la somme des carrés est minimale. Dans l'ensemble pris par Thomas, les valeurs obtenues successivement pour Σf^2 forment une courbe en U caractéristique : les fortes valeurs sont aux extrémités (une culture et six cultures). La valeur la plus faible, $\Sigma f^2 = 356$, incite à considérer cette commune comme une unité à quatre cultures et à ne pas tenir compte des deux cultures les moins pratiquées.

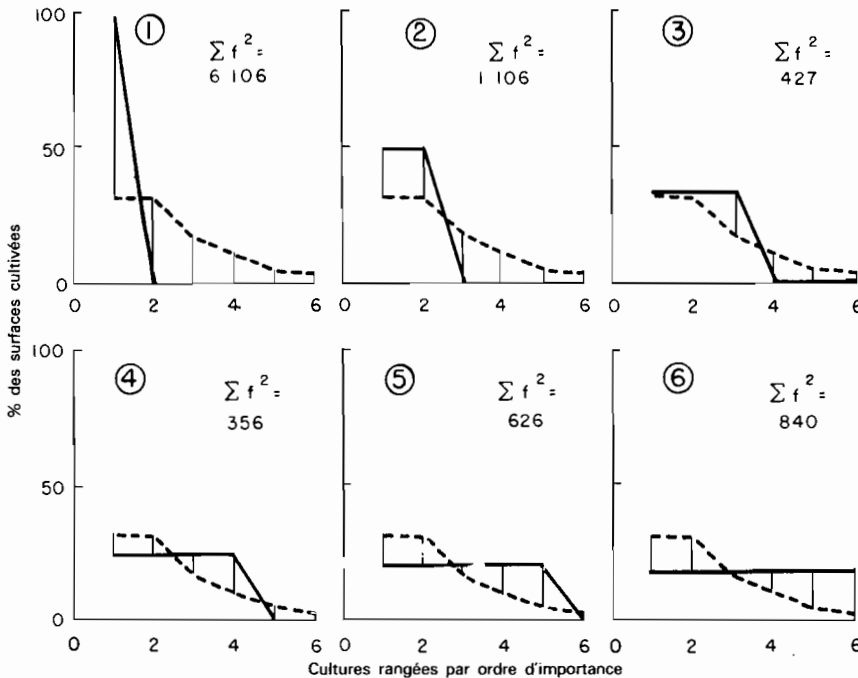


Fig. 8.6 — Stades du calcul des indices de combinaison.

Source : THOMAS, 1963, p. 81.

On peut cartographier les indices de combinaison en représentant par des grisés les nombres d'activités, la suite 1, 2, 3, 4 ... n indiquant une série de combinaisons allant de la monoculture à la diversité. En pratique, on désigne par des lettres les composantes que sont les cultures (B pour le blé, A pour l'avoine, O pour l'orge...); les lettres

correspondant à une combinaison (par exemple BAO) sont écrites sur chaque grisé. Ou bien on prépare des cartes distinctes des principales combinaisons.

L'indice de combinaison permet de rendre moins confuse la cartographie de composantes multiples, en distinguant éléments dominants et éléments secondaires. Il est peut-être le plus utile lorsque peu de composantes ont de l'importance; son efficacité est moindre quand il existe un équilibre presque parfait entre de nombreuses composantes. Des problèmes semblables se posent en écologie botanique, quand il s'agit de décrire et comparer des associations végétales complexes; il existe, semble-t-il, un certain nombre d'indices botaniques dignes d'intérêt (Greig-Smith, 1964, pp. 1-19, 131-157) qu'il serait utile de tester à propos de problèmes géographiques comparables.

LA RÉDUCTION DES COMPOSANTES

Pour cartographier un phénomène complexe, comme le « niveau de développement » d'un ensemble de régions, il peut être nécessaire d'employer un certain nombre de mesures, plutôt qu'une seule. C'est ainsi que Ginsburg (1961), dans son *Atlas of Economic Development*, emploie quelque quatre-vingt-dix indices distincts pour essayer de cerner l'insaisissable concept de développement. Toute méthode de réduction de telles mesures à un indice unique doit résoudre le problème de la comparabilité des mesures, dont certaines peuvent s'étendre de 1 à 10⁶, d'autres de 0,98 à 1,02 : il est évidemment nécessaire de réduire ces étendues différentes à un étalon unique pour pouvoir faire des comparaisons.

En rangeant les régions, pour une mesure quelconque, de la valeur la plus forte à la plus faible (rang 1, 2, 3 ... n), on obtient cet étalon commun; en faisant la somme des rangs occupés par chaque région, pour toutes les mesures, on obtient un indice global. Le fait de ranger pose cependant un problème : on gaspille une grande partie de l'information fournie par les opérations de mesure; 10,7; 6,2; 6,1 et 0,004 deviennent simplement 1, 2, 3 et 4, bien que, dans les mesures initiales, les intervalles apparaissent très différents. Pour conserver les différences entre les intervalles qui séparent les régions le long de l'échelle des mesures, Berry (1961-B) a proposé l'emploi de résultats réduits ou valeurs ω , qu'il est possible de calculer à l'aide de la formule :

$$\omega = (x_i - \bar{x}) / s_x$$

où x_i est la valeur de la mesure pour la région de rang i , \bar{x} la moyenne arithmétique et s_x l'écart-type de la mesure en question. Ainsi, pour une observation quelconque, la valeur ω exprime l'écart à la moyenne, mesuré en prenant comme unité l'écart-type.

Le procédé de sommation des rangs a été employé récemment, pour décrire des variations régionales par la combinaison de plusieurs mesures, dans une étude sur la « santé économique » de l'État de New York faite par Thompson, Sufrin, Gould et Buck (1962, p. 5). Ces auteurs ont utilisé neuf indicateurs distincts de l'activité économique de l'État, parmi lesquels figurent des indices comme le revenu par habitant et le taux de chômage; ils ont rangé les cinquante-huit comtés, successivement, dans

l'ordre donné par chacun des neuf indicateurs. Pour chaque comté, ils ont noté le rang obtenu pour chaque indicateur et fait la somme des neuf rangs; puis ils ont de nouveau rangé les comtés d'après les totaux obtenus, calculant ainsi un indice combiné. Comme les auteurs le font remarquer, cette méthode implique de curieuses additions : ainsi, la ville de New York a un bon rang (le 4^e), parmi les comtés, en ce qui concerne les niveaux économiques mais un mauvais (le 46^e) en ce qui concerne les tendances économiques. Au total, d'après cette méthode, cette ville occupe la 28^e position. En conséquence, les auteurs concluent que la méthode donne des images assez exactes des niveaux de développement atteints pour les diverses parties de l'État; mais, ne pouvant trouver aucune logique mathématique pour fonder cette méthode, ils la remplacent par une méthode plus sûre, l'analyse factorielle.

L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES OU ANALYSE FACTORIELLE

Quand plusieurs composantes sont en jeu, l'un des plus puissants instruments de la méthode statistique est l'analyse factorielle, qui attaque le problème au point même où la réduction échoue, en tenant compte du fait que toutes les mesures n'ont pas le même poids, et que plusieurs peuvent faire double emploi. Quand plusieurs mesures font apparaître fondamentalement le même schéma de répartition des variations, on soupçonne intuitivement que certaines sont redondantes et qu'un schéma plus fondamental est sous-jacent : la composante principale est une approximation de ce « schéma fondamental ».

Exposer dans le détail ce qu'est l'analyse factorielle (Harman, 1960) serait très compliqué et n'entre pas dans le cadre du présent ouvrage, mais il est possible de donner une idée de la puissance de la méthode à partir d'un article de Berry (1960). Ce dernier a fait une étude à l'échelle mondiale, portant sur 95 pays, dont chacun était caractérisé par 43 indices de développement économique. En effectuant l'analyse factorielle directe des indices préalablement ordonnés, il a pu ramener les 43 indices à

TABLEAU 8.1

ANALYSE FACTORIELLE DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE DE QUATRE-VINGT-QUINZE PAYS

Composantes	Variation expliquée		Interprétation
	en pourcentages	en pourcentages cumulés	
Facteur I	84,2	84,2	Axe technologique
Facteur II	4,2	88,4	Axe démographique
Facteur III	2,5	90,9	Axe du commerce international
Facteur IV	1,9	92,8	Axe de l'effectif
Facteur V	1,2	94,0	Terme d'erreur

Source : B. J. L. BERRY, « An Inductive Approach to the Regionalization of Economic Development », *University of Chicago, Research Paper*, 1960, p. 82.

LA DESCRIPTION

cinq facteurs fondamentaux ou « axes factoriels » (tableau 8.1) qui, ensemble, expliquaient 94 % des différences observées initialement entre les pays. L'axe technologique, le plus important, expliquait à lui seul 84 % de ces différences. Il est clair que, grâce à une telle analyse, Berry a tranché le nœud du problème de cartographie à plusieurs composantes, en obtenant un indice unique, la *composante principale*, qui peut en toute sécurité être substitué à un grand nombre d'indicateurs à partir desquels il a été calculé.

Ainsi, l'analyse en composantes principales permet de tourner le problème difficile posé par la cartographie de plusieurs indices, en substituant à ceux-ci des valeurs uniques plus fondamentales qui peuvent être présentées simplement sous la forme de cartes traditionnelles, en isarithmes ou par plages. Évidemment, la fiabilité de telles cartes dépend de la part des variations qu'explique l'axe factoriel principal. Dans l'étude sur l'État de New York dont il a été question ci-dessus (Thompson et al., 1962), la composante principale (facteur I) explique seulement 50,1 % des différences entre les neuf indicateurs, mais, du fait que ce pourcentage est plus de trois fois plus grand que celui obtenu pour n'importe quelle autre composante (facteur II : 15,7 %), il faut le considérer comme l'indice unique le plus fondamental des différences régionales du développement économique, à l'intérieur de cet État, qui ait été élaboré jusqu'à présent.

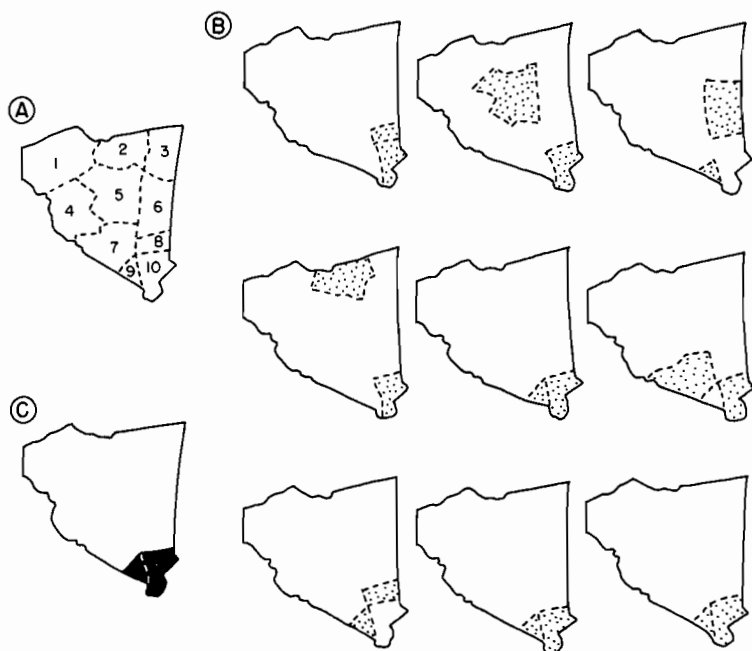


Fig. 8.7 — Analyse factorielle appliquée au sud de l'État de New York, États-Unis (G = 4,5).

Source : THOMPSON, SUFRIN, GOULD et BUCK, 1962, pp. 6-17.

En illustration de la méthode, la figure 8.7 représente un fragment (10 comtés) de la partie sud de l'État de New York; pour chacun des neuf indicateurs, les deux premiers comtés sont en grisé (fig. 8.7 B), ce qui fait apparaître les variations du classement par rangs d'un indicateur à l'autre. Les deux comtés qui, dans cette région, sont les premiers selon la composante principale (le facteur I) sont représentés en noir sur la figure 8.7 C; ce sont les comtés de Rockland (9) et de Westchester (10), situés immédiatement au nord de la ville de New York, et qui occupent respectivement le premier et le troisième rang pour l'ensemble de l'enquête, portant sur les cinquante-huit comtés de l'État.

Les problèmes de la description cartographique

Bien que les cartes soient toujours la méthode la plus pratique de « stockage » de l'information géographique, des signes indiquent qu'à l'avenir des données de plus en plus nombreuses pourront être stockées par d'autres procédés.

LES CARTES COMME SYSTÈME DE STOCKAGE DE DONNÉES

Deux problèmes fondamentaux de la cartographie, le problème de l'échelle et celui du système de projection, imposent des limites assez strictes à l'emploi des cartes en vue de la description des formes géographiques. Selon Robinson (1960, p. 226), il est impossible, à une distance de 45 centimètres, de voir clairement des symboles de taille inférieure à un quart de millimètre. En termes de surface, cela signifie qu'il est impossible de représenter une surface d'un kilomètre carré à une échelle inférieure à 1/1 000 000 environ (Amiran et Schick, 1961, p. 165) : au-dessous de ce niveau, il faut généraliser, d'une façon ou d'une autre.

Le système de projection prend une importance décisive lorsque les surfaces à représenter sont trop grandes pour pouvoir être considérées comme planes; en pratique, il s'agit des surfaces supérieures à 250 kilomètres carrés. Paradoxalement, le problème ne vient pas du manque de systèmes de projection mais plutôt de leur grand nombre. Sauf à l'intérieur des séries nationales et des atlas nationaux, on a peu de chances de trouver des cartes représentant une grande partie de la surface de la terre et sur lesquelles les méridiens et les parallèles forment un réseau permettant des comparaisons directes.

Les cartes présentent néanmoins un certain nombre d'avantages importants. Les formes de localisation sont portées sur un fond de carte qui donne des informations secondaires importantes, notamment sur l'orientation, la fiabilité, les bases de référence. Les coordonnées indiquées dans les marges, comme la latitude et la longitude des cartes à petite échelle, et les carroyages des cartes à grande échelle, fournissent le cadre de repérage le plus austère mais le plus précis à de telles données d'*orientation*; s'y ajoutent ordinairement les côtes, les frontières politiques, les cours d'eau ou les villes importantes situées dans l'aire représentée. Selon Bunge (1962, pp. 44-48), certains de ces repères traditionnels pourraient être remplacés ou remis en question

puisque, par exemple, les cours d'eau ont rarement, en ce qui concerne les localisations, le caractère significatif que la fréquence de leur emploi sur les cartes pourrait impliquer. Le degré de fiabilité est indiqué par des informations sur la source d'erreur inhérente aux phénomènes cartographiés; ainsi, Weaver (1956) a tracé des isarithmes représentant des systèmes de culture sur des cartes administratives de comtés et de *townships* dans les limites desquelles les données étaient collectées. Les bases de référence sont des informations qui permettent de situer une carte dans une certaine perspective; ainsi, Ginsburg (1961), dans son *Atlas of Economic Development*, a cartographié des indices de développement économique sur des fonds de cartes représentant, à l'échelle mondiale, la densité de population.

AUTRES SYSTÈMES DE STOCKAGE DE DONNÉES : LA CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE

Un des faits nouveaux les plus importants pour la géographie est le développement de la cartographie automatique. Par ce système, les données sont stockées sur des cartes perforées, sur des rubans magnétiques, etc., et peuvent être « traduites » en une carte géographique représentant une caractéristique quelconque par un traceur de courbes automatique. Les possibilités que recèlent de telles méthodes ont été discutées par Tobler (1959). Un exemple remarquable en est l'*Atlas of the British Flora* (Perring et Walters, 1962) qui a été fait à partir d'un jeu de cartes perforées, dont chacune concerne l'une des 2 000 espèces vasculaires existant en Grande-Bretagne et l'une des cases de la National Grid. Les particularités de localisation, l'espèce (sa présence ou son absence), l'habitat, la date de l'observation, le nom de l'observateur et d'autres informations pertinentes ont été codées, et les 1 500 000 éléments d'information triés automatiquement. A un stade ultérieur de l'analyse, les données ont été introduites dans un tabulateur automatique, qui imprimait un point, si l'espèce était présente, au lieu indiqué par les chiffres du système de référence de la grille (fig. 7.10).

Dans le cas de l'atlas de Perring et Walters, le problème des coordonnées géographiques est résolu simplement, par l'emploi du système de la National Grid. Des systèmes semblables existent dans un certain nombre de pays, notamment en Suède. Pour les études faites à l'échelle du monde, les systèmes de référence sphéroïdaux, plus compliqués, fondés sur le repérage de la latitude et de la longitude, remplacent obligatoirement les systèmes de coordonnées rectangulaires. La complexité du calcul automatique des distances, des surfaces et des directions sur un système de référence sphérique est encore accrue par l'écart existant entre la forme de la Terre et celle d'une véritable sphère : la longueur d'un degré de méridien varie de 68,703 miles terrestres (entre zéro et un degré de latitude) à 69,407 miles terrestres (entre 89 et 90 degrés de latitude). D'où l'usage de plus en plus courant de la projection transverse de Mercator, qui fournit aux séries de cartes topographiques une base de projection conforme. Principal avantage de cette projection : les déformations de l'échelle sont uniformes le long des lignes parallèles au grand cercle qui sert d'étalon, ce qui permet la construction d'un système de coordonnées xy rectangulaires, dans lequel « une valeur x donnée aura une caractéristique d'échelle uniforme, pour une valeur y quelconque » (Robinson, 1960, p. 91). Ce système a été largement employé aux

États-Unis pour l'établissement d'une série de projections identiques appliquées aux latitudes moyennes, où chaque unité couvre une surface de 6 degrés de longitude multipliés par 800 kilomètres.

En dehors de ces systèmes fondamentaux, des projections azimuthales ont donné lieu à des applications intéressantes. Par exemple, dans l'une des études sur les migrations passées en revue au chapitre 2 (fig. 2.4), l'information est stockée en termes de distance (u) et de direction (v), u et v étant mesurées à partir du point de départ de la migration. D'autres systèmes, tenant compte du temps de parcours et de la direction, pourraient s'avérer utiles dans les études cartographiques de circulation (Bunge, 1962, p. 55).

Le codage des localisations géographiques en vue de la cartographie automatique pose d'autres problèmes techniques, qui sortent du cadre de ce bref exposé. Un exemple simple est la nécessité, au cours de la programmation, de substituer la convention mathématique définissant la direction (l'origine, zéro degré, est à l'est, et on mesure les angles dans le sens opposé à celui des aiguilles d'une montre) à la convention géographique (l'origine, zéro degré, est au nord, et on mesure les angles dans le sens des aiguilles d'une montre). Comme dans le cas du langage juridique, la traduction des réalités géographiques en programmes d'ordinateur peut conduire à des définitions pesantes mais précises. C'est ainsi que Nordbeck (1962) a été obligé d'employer une définition de ses aires d'étude qui, à première vue, paraît très verbeuse. Dans une étude sur la Suède, il ramène des aires, par approximation, à des polygones, dont il numérote les sommets P_1, P_2, \dots, P_n dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, P_n étant égal à P_1 . P_1 a la plus faible valeur de la coordonnée y , et, si cette valeur n'est pas unique, P_1 a la plus faible valeur de la coordonnée x . L'aire correspondant à chaque polygone est alors définie comme étant la surface située à gauche de toutes les lignes qui relient deux sommets consécutifs.

2. LA DESCRIPTION DE LA LOCALISATION RELATIVE : LES INDICES STATISTIQUES

Les aires contiguës

LA DESCRIPTION DE LA FORME

Quelques procédés de mesure simples ont été élaborés en géographie humaine pour décrire avec concision les formes des phénomènes étudiés; mais une comparaison avec d'autres disciplines montre qu'il est possible d'aller beaucoup plus loin dans cette direction. D'ailleurs, les géographes ont en grande partie emprunté leurs concepts fondamentaux relatifs à la forme à d'autres disciplines, par exemple à la pétrographie sédimentaire, où la forme des particules a une signification primordiale du point de vue dynamique. Dans ce domaine, des chercheurs tels que Krumbein (1941) et Pettijohn (1957, pp. 54-68) ont élaboré une série d'indices de grand intérêt, qui permettent de décrire avec concision les caractéristiques de forme, en trois dimensions,

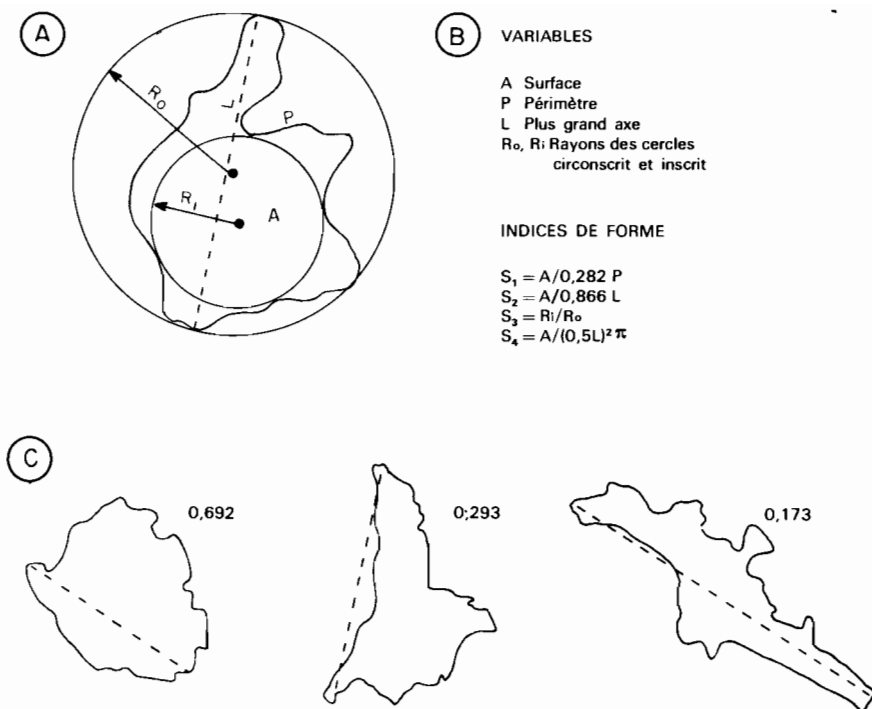


Fig. 8.8 — Variables utilisées dans les indices de forme; application aux aires urbaines.
Source : GIBBS, 1961, p. 101.

des particules. A partir de quelques variables fondamentales présentées sur la figure 8.8 (surface, périmètre, longueur du plus grand axe, rayons du cercle circonscrit le plus petit et du cercle inscrit le plus grand) il est possible d'imaginer une série d'*indices de forme*. Sur la figure 8.8 B sont définis trois indices simples, dans lesquels des mesures sont rapportées l'une à l'autre par paires (surface et périmètre, surface et grand axe, rayons des deux cercles). Dans chaque cas, l'indice de forme est modifié de façon à permettre une comparaison facile avec un cercle. Ainsi, dans le premier indice de forme, S_1 , le périmètre est multiplié par 0,282; dans le deuxième, S_2 , le grand axe est multiplié par 0,866. Si la forme étudiée est un cercle, la valeur de chacun des trois indices est 1,00; à mesure que les formes deviennent plus allongées et plus irrégulières, les indices tendent vers zéro.

Gibbs (1961, pp. 99-106) a employé l'indice S_4 pour décrire la forme des villes américaines. Cet indice rapporte la surface du cercle qui aurait pour diamètre le plus grand axe, soit $(0,5 L)^2 \pi$, à la surface réelle, A , de sorte que la valeur 1,00 correspond à une forme circulaire. La figure 8.8 C représente la forme de trois villes américaines (Raleigh, Trenton et Charleston) : Raleigh est relativement proche d'un cercle ($S_4 = 0,692$) et Charleston allongée ($S_4 = 0,173$). En comparant les indices de forme calculés en fonction de diverses définitions de la ville, Gibbs a montré que l'aire administrative

de la ville ($S_4 = 0,412$) a une forme sensiblement plus proche du cercle que l'aire urbanisée ($S_4 = 0,288$).

Parmi les caractéristiques des répartitions géographiques, la forme est l'une des plus difficiles à mesurer. Le problème est le suivant : en essayant de mesurer la forme, et seulement la forme, on mesure aussi, involontairement, un certain nombre de caractéristiques indésirables, notamment l'orientation. La description de formes se fait couramment à l'aide de catégories subjectives (forme « circulaire », « en lacet », « en étoile »), mais ces modèles géométriques sont peu nombreux et le choix peut varier d'un observateur à l'autre. Bunge (1962, pp. 73-78) a discuté ces problèmes en détail, et, pour les résoudre, proposé une méthode fondée sur deux théorèmes : 1° toute forme « simplement connexe » (c'est-à-dire d'un seul tenant et sans trou) peut être assimilée à un polygone d'un nombre quelconque de côtés, ces côtés étant de longueur égale mais variable; 2° si on fait les sommes, selon une règle bien établie, des distances entre tous les sommets du polygone, il existe un ensemble de sommes, et un seul, qui définit de façon univoque la forme du polygone.

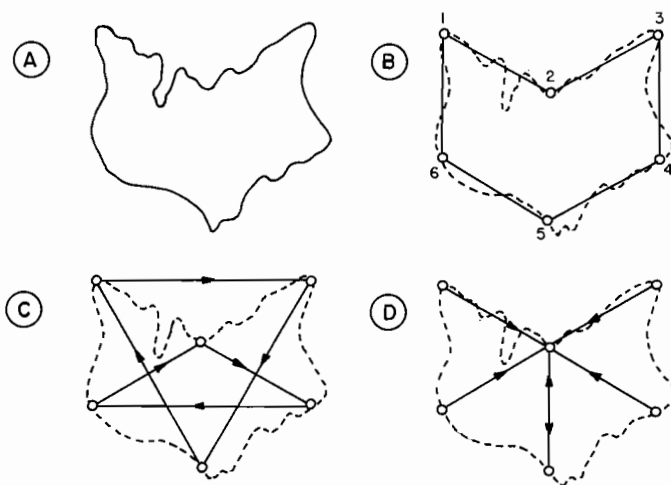


Fig. 8.9 — Étapes du calcul des sommes correspondant aux formes, selon la méthode de Bunge.

Source : BUNGE, 1962, p. 77.

La figure 8.9 montre comment s'appliquent ces deux théorèmes : la forme initiale (fig. 8.9 A) est assimilée, par approximation, à un polygone dont les six côtés sont égaux (fig. 8.9 B). Les sommets de ce polygone sont numérotés de 1 à 6. Sur la figure 8.9 C, des segments sont tracés, joignant chaque sommet au second sommet suivant : le premier sommet est joint au troisième, le second au quatrième, et ainsi de suite. Ces segments sont mesurés; la somme de leurs longueurs donne le premier indice SS_1 , et la somme des carrés de leurs longueurs donne le second indice SS_1^2 .

La figure 8.9 D représente l'étape suivante du processus de mesure : des segments

joignent chaque sommet au troisième sommet suivant : le premier sommet est joint au quatrième, et ainsi de suite. La somme des longueurs de ces segments donne le troisième indice SS_2 , et la somme des carrés de ces longueurs donne le quatrième indice SS_2^2 . Ce processus continue jusqu'à ce qu'on retombe sur les sommes déjà obtenues une première fois, et que par conséquent « cet ensemble unique de toutes les sommes ait été déterminé » (Bunge, 1962, p. 77). Quand le polygone a six côtés, ces sommes sont au nombre de quatre : $SS_1... SS_2^2$; quand le polygone a huit côtés, elles sont au nombre de six : $SS_1... SS_3^2$.

En mesurant toutes les formes que l'on veut avec, comme unité de longueur, la longueur d'un côté du polygone correspondant à chacune, il est facile de comparer ces formes, tant entre elles qu'avec des figures géométriques types. La figure 8.10 représente les courbes caractéristiques obtenues pour les sommes correspondant aux formes de deux communes du Mexique étudiées par Bunge, en même temps que les courbes correspondant à une forme géométrique type, l'hexagone régulier. Cette tentative

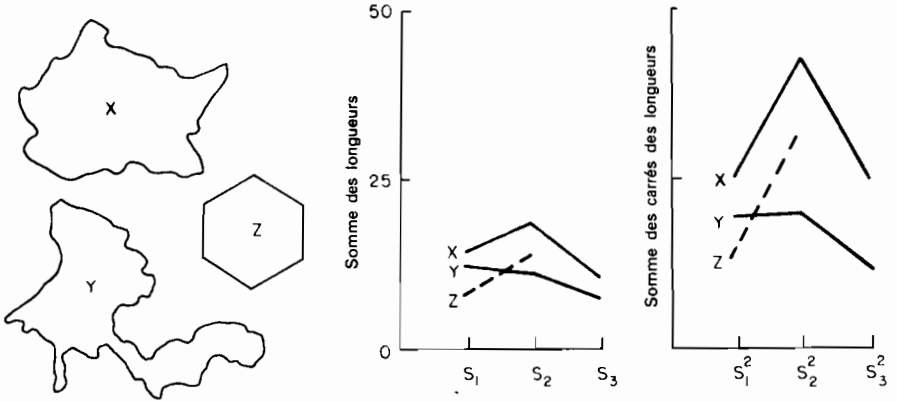


Fig. 8.10 — Formes caractéristiques, et sommes qui leur correspondent.
Source : BUNGE, 1962, pp. 79-86.

intéressante de Bunge — créer des indices sans dimension — mérite d'être poussée plus loin; d'autres auteurs (par exemple Boyce et Clark, 1964) ont proposé des indices comparatifs simplifiés.

LES CARACTÉRISTIQUES DE VALEUR CENTRALE ET DE DISPERSION

Une deuxième série d'indices a été élaborée à partir de la théorie statistique; ces indices appliquent, par extension, des caractéristiques statistiques bien connues, par exemple la moyenne arithmétique, aux deux dimensions du plan. Cette idée n'est pas nouvelle : dès 1892, Johnson a présenté une discussion sur les écarts des traces de balles par rapport à un objectif, en considérant ces traces comme formant une densité de probabilité distribuée sur une surface (Johnson, 1892); vers 1937, Sviatlovsky et Eells ont publié un compte rendu très complet sur les recherches géogra-

phiques menées, en Russie notamment, selon les méthodes qui, depuis, ont été baptisées « méthodes centrographiques ». L'importance de ce qui a été publié sur ces méthodes et leur dépendance étroite à l'égard de la théorie statistique nous empêchent d'en donner ici un compte rendu exhaustif; le lecteur se reportera au travail de Bachi (1963). Nous allons simplement présenter quelques exemples des méthodes en usage.

Warntz et Neft (1960) ont montré comment appliquer aux deux dimensions du plan trois caractéristiques familières de *tendance centrale*, la moyenne, la médiane et le mode. Ils définissent le centre moyen d'une distribution comme étant le point où la somme $\int R^2 \cdot G (dA)$ est minimale; le centre médian est le point où la somme $\int R \cdot G (dA)$ est minimale. Dans ces deux expressions, G est la densité de population dans une très petite portion de surface, dA , et R la distance entre chaque petite portion de surface et le point moyen ou médian. On peut, de même, définir le mode comme étant la position du point le plus élevé de la surface de densité.

Hart (1954) et Porter (1963) ont décrit des procédés pratiques de calcul des points d'accessibilité minimale. La méthode de Hart consiste à faire une série d'approximations successives, en utilisant un gabarit formé de plusieurs cercles concentriques dessinés sur un support transparent, et qui permet de compter les effectifs de population situées à des distances déterminées du centre du gabarit. La méthode de Porter est plus rapide, mais peut entraîner des erreurs considérables de localisation du point (Court et Porter, 1964).

La figure 8.11 représente, au moyen d'isarithmes, la répartition du potentiel de population aux États-Unis, en 1950; l'intervalle entre les courbes est de 50 unités, et les valeurs de potentiel supérieures à 300 unités sont en grisé. Le centre moyen (α)

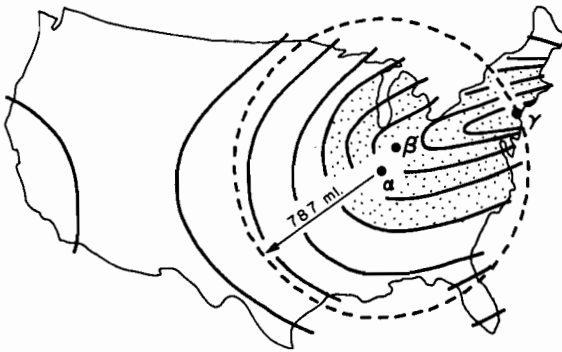


Fig. 8.11 — Potentiels de population aux États-Unis ($G = 1,8$); point moyen (α), point médian (β) et mode (γ) de la distribution.

Source : WARNTZ et NEFT, 1960, p. 62.

est situé dans le Sud de l'Illinois, le centre médian (β) dans le Centre de l'Indiana, et le centre modal (γ) dans la ville de New York. La localisation des trois points fait apparaître la grande sensibilité du centre moyen à l'existence de centres de population éloignés, situés, dans le cas présent, sur la côte pacifique des États-Unis.

Dans les descriptions statistiques de distributions de fréquence existent, à côté des caractéristiques de tendance centrale, les caractéristiques de dispersion. Stewart et Warntz (1958) ont proposé une caractéristique de dispersion commode, qu'ils appellent le « rayon dynamique » d'une population, et qu'ils définissent par l'expression :

$$\sqrt{\{\Sigma (pd^2)\} / P}$$

où p est la population d'une très petite surface, d la distance entre elle et le centre moyen (défini comme ci-dessus) et P la population totale. En 1950, le rayon dynamique de la population des États-Unis, soit 150 700 000 habitants, était de 790 miles; sur la figure 8.11, il est représenté par un cercle dont le centre est dans le Sud de l'Illinois. Environ 69 % de la population des États-Unis habite à l'intérieur de ce cercle; Warntz et Neft (1960, p. 66) font observer que, à mesure que le centre moyen se déplaçait vers l'ouest le long du 39^e parallèle, le rayon dynamique s'agrandissait; ainsi, bien que le centre modal soit resté à New York depuis 1840 et que l'intervalle entre le centre moyen et le centre modal se soit agrandi, la distribution n'est pas devenue plus dissymétrique.

Les points et les aires discontinues

Traiter une distribution comme une surface continue ou comme un ensemble cohérent de points séparés est largement une question d'échelle et de nature des données. Il est possible de reformuler les caractéristiques de tendance centrale de façon à les rendre applicables à un groupement de points; inversement, certains des indices dont il va être question pourraient être rendus plus généraux, de façon à permettre l'analyse de distributions continues. Néanmoins, il existe des catégories de données, par exemple l'habitat et ses caractéristiques, qui posent des problèmes spéciaux, et pour lesquelles on a élaboré des indices spéciaux; nous allons en présenter deux groupes.

L'ANALYSE DU PLUS PROCHE VOISINAGE

En dépit de l'intérêt soutenu que les géographes européens ont porté à l'étude quantitative de l'habitat rural (*cf.* le bref compte rendu de Houston, 1953, pp. 81-85), la plupart des tentatives d'introduction des méthodes statistiques et probabilistes dans ce domaine sont assez récentes. Une importante étude écologique de Clark et Evans (1954) sur l'analyse du plus proche voisinage apparaît comme le point de départ de nombreuses recherches plus récentes sur les structures spatiales de l'habitat. La méthode d'analyse de Clark et Evans est fondée sur la mesure de la distance réelle, en ligne droite, qui sépare un point du point voisin le plus proche, et sur la comparaison entre ces distances et celles qu'on trouverait théoriquement si les points étaient distribués de façon aléatoire à l'intérieur de la même surface. La comparaison est faite au moyen de l'indice de plus proche voisinage, R_n , obtenu par application de la formule :

$$R_n = \bar{D}_{\text{obs}} / \{0,50 (A/N)^{-\frac{1}{2}}\}$$

où \bar{D}_{obs} est la distance moyenne observée entre les points et leurs plus proches voisins, A la surface et N le nombre de points. Les valeurs de R_n varient de zéro (valeur obtenue quand tous les points sont groupés ensemble en un seul lieu) à 2,15 (valeur obtenue quand les points sont aussi éloignés que possible les uns des autres, et forment donc une distribution en hexagones réguliers). Quand la valeur de R_n est 1, la distribution des points est aléatoire.

King (1962) a appliqué la méthode de Clark et Evans dans une étude sur l'habitat urbain aux États-Unis. Les résultats qu'il a obtenus ont déjà été exposés, ainsi que leurs implications quant à la théorie de la localisation (*cf.* pp. 104-106); mais il est bon de se reporter à la figure 4.2 (p. 106), qui représente les valeurs de l'indice R_n : ces valeurs s'étendent de 0,70 (distribution groupée, dans la région de Duchesne, Utah) à 1,38 (distribution à espacements réguliers, dans le Centre du Minnesota). Pour King, la valeur $R_n = 1,00$ n'est pas une ligne fondamentale de partage entre distribution en groupes et espacement régulier, mais cet indice fournit une échelle continue, le long de laquelle on peut situer les variations progressives des formes de localisation.

Dacey (1960) a employé l'analyse du plus proche voisinage pour étudier l'espacement des villes le long des cours d'eau, dans les basses plaines du Centre des États-Unis. Il a voulu vérifier l'idée que les grandes villes situées sur des cours d'eau sont régulièrement espacées (Burghardt, 1959, p. 322) en lui appliquant la définition plus rigoureuse que donne la statistique de l'espacement uniforme. Clark (1954, p. 124) a démontré que, quand des points sont dispersés le long d'une ligne (comme les villes le long du Mississippi, sur la figure 8.12) on peut distinguer des « paires réflexives », c'est-à-dire des groupes de deux points dont chacun a l'autre pour voisin le plus proche; sur la figure 8.12, où des flèches vont de chaque ville à la ville voisine la plus proche,

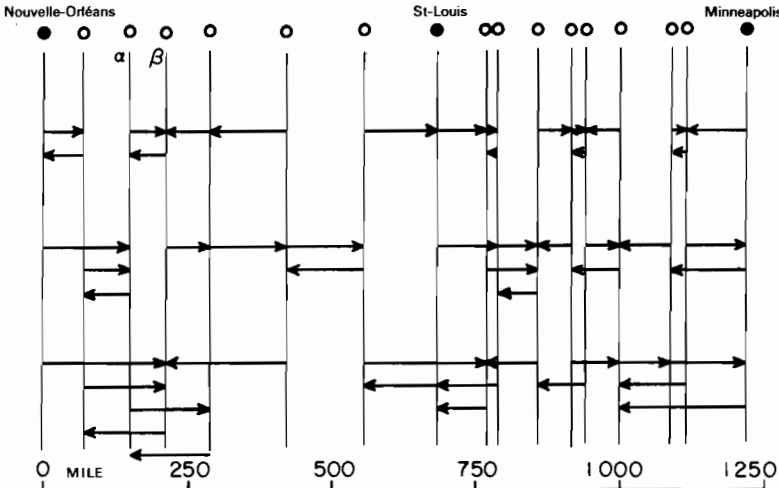


Fig. 8.12 — Étapes de l'analyse du plus proche voisinage; exemple des villes situées sur le Mississippi, dans le Centre des États-Unis.

Source : DACEY, 1960, p. 60.

apparaît l'exemple de Natchez (α) et Vicksburg (β). De même, on peut distinguer des paires réflexives de « deuxième plus proche voisinage » (deuxième série de flèches sur la figure 8.12), des paires réflexives de « troisième plus proche voisinage » (troisième série de flèches sur la figure 8.12) et ainsi de suite. Dans le cas des villes situées sur le Mississippi, il existe cinq paires réflexives de premier plus proche voisinage (c'est-à-dire dix « points réflexifs », trois paires réflexives de deuxième plus proche voisinage (six points réflexifs) et deux paires réflexives de troisième plus proche voisinage (quatre points réflexifs).

Clark a démontré que, théoriquement, si des points sont dispersés au hasard le long d'une ligne, la proportion de points qui appartiennent à une paire réflexive de n ème ordre est $(2/3)^n$. Il distingue un espacement *uniforme* de points, réalisé quand la proportion est supérieure à $(2/3)^n$, et un espacement *groupé*, réalisé quand la proportion est inférieure à $(2/3)^n$: plus est grand l'écart par rapport à $(2/3)^n$, plus est accentué le groupement ou l'uniformité. Sur le tableau 8.2, la proportion de points réflexifs, en ce qui concerne le premier plus proche voisinage, 10/17 ou 0,588, apparaît inférieure à la proportion théorique correspondant à une situation aléatoire $(2/3)^1$ ou 0,667, et le mode de répartition des villes situées sur le Mississippi est qualifié de « groupé ». En ce qui concerne les plus proches voisinages de deuxième et troisième ordre, les proportions sont, de même, inférieures à celles qui correspondent à une situation aléatoire; ce fait confirme la qualification « groupement » et non la qualification « régularité » employée par Burghardt. Cependant, avant de conclure que l'analyse mathématique de Dacey a infirmé l'interprétation qualitative de Burghardt, il faut considérer que Dacey a défini ses dix-sept villes d'après l'effectif de population, alors que Burghardt n'a pas défini strictement son échantillon. Une suite divertissante à la discussion entre Burghardt et Dacey nous est donnée par Porter (1960) dans un article intitulé « Earnest and the Orophagians », où il montre l'existence de certaines conditions limitatives, possibles mais peu probables, dans lesquelles la méthode du plus proche voisinage inverse complètement les concepts intuitifs de groupement et de régularité.

TABLEAU 8.2

ANALYSE DU PLUS PROCHE VOISINAGE :
ESPACEMENT DE 17 VILLES SITUÉES SUR LE MISSISSIPI

	Points réflexifs			
	Nombre	Proportion observée	Proportion théorique	Qualification
Plus proche voisinage :				
— de premier ordre	10	0,588	0,667	Groupement
— de deuxième ordre	6	0,353	0,444	Groupement
— de troisième ordre	4	0,235	0,296	Groupement

Source : M. F. DACEY, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1960, pp. 60-61.

LES INDICES D'ASSOCIATION GÉOGRAPHIQUE

L'un des indices descriptifs que l'on rencontre le plus fréquemment dans les publications géographiques est le *coefficient d'association géographique* (*G*). Cet indice a été présenté sous diverses appellations — « coefficient de liaison », « coefficient de similarité » — depuis que Hoover (1936), l'a employé le premier à l'occasion de recherches sur la localisation des industries. Le succès qu'il a obtenu semble dû au fait qu'il est très facile à calculer. Fondamentalement, c'est une mesure du degré d'association entre deux phénomènes quelconques, dans un ensemble de régions géographiques.

La figure 8.13 A présente un exemple simple d'emploi du coefficient *G*. Deux distributions sont comparées, celle de l'industrie lainière et celle de l'ensemble des industries dans les onze *standard regions* de Grande-Bretagne. Dans les deux cas, la distribution

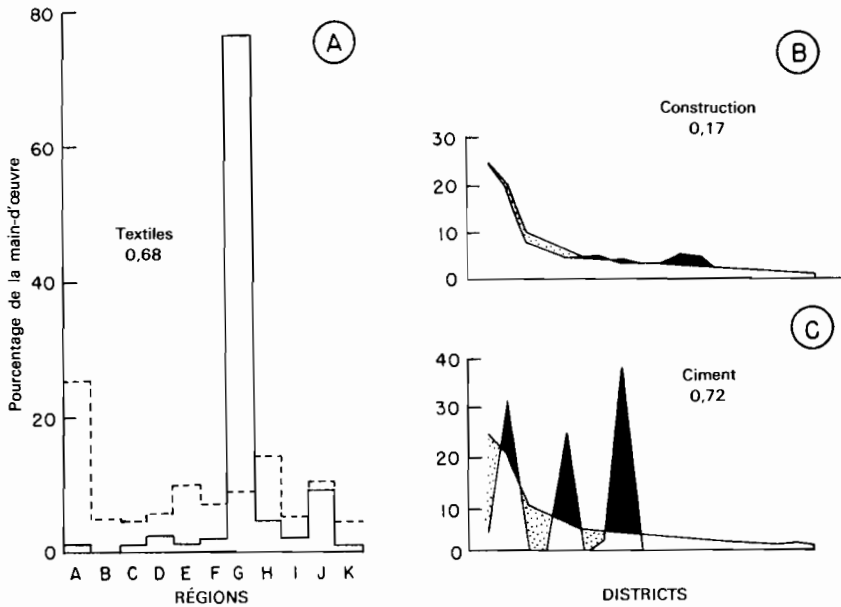


Fig. 8.13 — Calcul du coefficient d'association géographique : exemples de l'industrie britannique (A) et de l'industrie portugaise (B et C).

est mesurée par l'effectif de main-d'œuvre, qui est fractionné en pourcentages correspondant à chaque région. Ainsi, la première région, *A* sur la figure 8.13 A, contient 29,90 % de la main-d'œuvre de l'industrie lainière britannique et 25,20 % de la main-d'œuvre de toutes les industries britanniques; l'effectif national total est dans chacun des deux cas 100 %. Les parts des onze régions, ainsi mesurées en pourcentages, sont portées sur le graphique de la figure 8.13 A, où le trait plein représente l'industrie lainière, et le trait en tireté l'ensemble des industries. Les intervalles entre les deux courbes indiquent la différence (f_i) propre à chaque région.

LA DESCRIPTION

On calcule le coefficient G en appliquant la formule :

$$G = 1 - \left(\sum_{i=1}^n f_i \right) / 100$$

où $\sum f_i$ est la somme, calculée en valeur absolue, soit des déviations positives, soit des déviations négatives. Il importe peu que l'on emploie l'une ou l'autre somme, car elles sont égales en valeur absolue. Dans l'exemple représenté par la figure 8.13 A, une seule région présente une déviation positive, la région G (circonscriptions est et ouest du Yorkshire), où le pourcentage de l'industrie lainière (76,5 %) dépasse celui de l'ensemble des industries (8,8 %) de 67,7 points.

L'étendue du coefficient va de zéro à 1 ; sa valeur est faible quand les deux distributions comparées sont semblables, forte quand les deux distributions sont très dissemblables. La figure 8.13 représente aussi les courbes caractéristiques de deux industries portugaises dont les distributions contrastent : l'industrie du bâtiment (fig. 8.13 B) tend à être très dispersée, en ce sens qu'elle se conforme à la distribution générale de la main-d'œuvre industrielle, et son coefficient G est de 0,17 seulement ; à l'inverse, l'industrie du ciment (fig. 8.13 C) est géographiquement concentrée et son coefficient G est de 0,72. Cet indice présente évidemment beaucoup d'intérêt : il permet de définir des schémas de localisation en les situant sur une échelle continue ; des chercheurs comme Chisholm (1962, p. 93) l'ont employé avec beaucoup de succès dans des études sur l'agriculture. A propos de l'Angleterre et du Pays de Galles, pour l'année 1956, Chisholm a constaté qu'il pouvait situer les distributions de vingt-neuf cultures maraîchères le long d'une échelle continue allant de 0,39, valeur obtenue pour la laitue, dont la distribution s'étend largement à la périphérie des villes, à 0,61, valeur obtenue pour le céleri dont la culture est fortement concentrée sur les sols profonds et bien drainés des Fens et de certains secteurs du Norfolk.

Le principal inconvénient du coefficient G est sa trop grande dépendance à l'égard de la taille et du nombre des unités spatiales de collecte des données. Quand ces unités sont peu nombreuses et grandes, les valeurs de G sont typiquement faibles ; quand elles sont nombreuses et petites, les valeurs de G sont typiquement fortes (chap. 7, section 3). Par conséquent, comparer directement des coefficients calculés à partir de distributions semblables pour des pays ou régions différents n'est pas valable. Cette dépendance provient du fait que le coefficient G n'est pas une véritable mesure de l'association (comme l'est le coefficient de corrélation de Pearson, r), mais qu'il indique seulement « la proportion d'une variable à laquelle il faudrait faire traverser les limites des unités statistiques pour rendre sa distribution identique à celle de la deuxième variable » (MacCarty et *al.*, 1956, p. 31). Ensuite, MacCarty recherche dans quelle mesure on peut se fier à G et à r ; la comparaison est au désavantage de G . Il constate non seulement que G dépend beaucoup de la grandeur réelle des valeurs comparées, mais qu'il ne donne aucune indication sur l'existence éventuelle d'une forte association *inverse* (c'est-à-dire d'une forte association des fortes valeurs d'une distribution avec les faibles valeurs d'une autre). Dans l'un des cas qu'il a étudiés, le coefficient G avait une valeur de 0,744 pour deux distributions qui, selon

le coefficient r de Pearson, étaient presque absolument non corrélées ($r = 0,006$)!

Thompson (1957) a proposé des modifications de l'indice primitif, mais il reste nécessaire de manier avec beaucoup de prudence ce G ambigu. Certes, il donne une description utile de la concentration des localisations à l'intérieur d'une région ou d'un pays, mais il ne fournit qu'une base étroite à une comparaison entre régions différentes ou, pour une région donnée, entre des époques différentes (sauf, uniquement, dans le cas où les limites intérieures n'ont pas changé). Il convient d'apporter des restrictions semblables à l'emploi d'un indice moins couramment utilisé, dérivé du coefficient d'association géographique, le *quotient de localisation* (L_Q), qui décrit la situation représentée par la figure 8.12 A en comparant les valeurs obtenues pour les deux distributions, région par région. Ainsi, pour la région A (Londres et Sud-Est) où se trouve 0,9 % de l'industrie lainière, mais 25,2 % de l'ensemble de l'industrie, le quotient de localisation est égal à $0,9/25,2$, soit $L_Q = 0,04$. Les quotients supérieurs à 1 indiquent l'existence d'un « surplus » régional de l'industrie lainière; par exemple, pour les circonscriptions est et ouest du Yorkshire (région G), la valeur du quotient est 8,64.

Les réseaux de lignes

L'ANALYSE DES DIMENSIONS

La façon la plus simple de décrire les faits dont l'implantation est linéaire, comme les itinéraires de transport, consiste à les considérer du point de vue de leurs dimensions. Ainsi, on peut mesurer la longueur d'un système ferroviaire (L) et le rapporter à la surface qu'il dessert (A), ce qui donne un rapport simple, la densité, exprimée en longueur par unité de surface (L/A). Ginsburg (1961, p. 60) a cartographié de cette façon les variations de la densité des voies ferrées dans le monde, en employant comme indice le nombre de kilomètres de voie ferrée par cent kilomètres carrés de surface. Il a constaté que les densités étaient fortes dans les pays d'Europe occidentale (12,7 par exemple en Grande-Bretagne), alors qu'en Amérique la densité était à peu près égale au tiers de ce chiffre aux États-Unis (4,47) et s'abaissait à 0,43 au Brésil (chap. 3, section 2).

Un prolongement intéressant du rapport exprimant la densité (L/A) est son inverse, le rapport A/L , qui représente la distance entre lignes voisines. En prenant la moitié de cette distance et en écrivant la formule, pour faire les calculs, sous la forme $0,5 A/L$, on obtient une mesure moyenne de la *longueur de parcours à travers champs*, c'est-à-dire de la distance entre une partie quelconque de la surface et la ligne de transport la plus proche. Dans le cas des réseaux ferroviaires, on peut dire que la longueur moyenne de parcours à travers champs est égale à 7,84 kilomètres en Grande-Bretagne, à 22,4 kilomètres aux États-Unis et à 232 kilomètres au Brésil. De tels chiffres, évidemment, masquent les grands contrastes de densité des voies ferrées existant entre les régions, mais fournissent, dans les limites imposées par les données, un étalon de comparaison intéressant.

Il est évidemment possible, et nécessaire, de disposer de mesures plus complexes des dimensions des réseaux de transport. Des variables supplémentaires, qui pondèrent les lignes de transport soit d'après leur capacité potentielle (par exemple la largeur et le type de revêtement d'une route) soit d'après leur utilisation effective (par exemple le flux des marchandises, sur une voie ferrée, en tonnes), ont été couramment utilisées dans des études faites à l'échelle d'un pays, comme celle d'Ullman (1949) sur les chemins de fer aux États-Unis, mais il est généralement plus difficile de faire des comparaisons à l'échelle internationale. Quelles que soient exactement ces mesures, les géographes ont là une bonne occasion de se familiariser avec les recherches parallèles faites en géomorphologie, où l'étude des réseaux de cours d'eau a donné naissance à une masse impressionnante de publications sur la mesure et la description des phénomènes dont l'implantation est linéaire. Les recherches qui ont ouvert la voie, à propos des réseaux de cours d'eau, sont celles d'un ingénieur, Robert Horton (1945), qui, dans un article sous-titré « A Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology », a présenté les concepts fondamentaux de longueur des cours d'eau, nombre de cours d'eau, ordre des cours d'eau. Certains de ces concepts, même s'ils ont été modifiés au cours des vingt dernières années de recherches (cf. le compte rendu de Leopold, Wolman et Miller, 1964, pp. 131-150), constituent une mine d'idées, en grande partie inutilisée, pour l'analyse des dimensions de ces voies d'intérêt vital que sont les routes, les chemins de fer et tous les itinéraires de ce genre.

CARACTÉRISTIQUES TOPOLOGIQUES FONDÉES SUR LA THÉORIE DES GRAPHS

Une autre façon d'aborder l'étude des réseaux de transport a été proposée par Garrison (1960) et Kansky (1963), qui ont cherché à traiter le problème à partir de la théorie mathématique des graphes. Kansky a proposé une quinzaine d'indices plus ou moins complexes; nous n'en étudierons ici que quelques-uns, choisis soit parce qu'ils sont considérés comme présentant un intérêt fondamental pour illustrer les bases de la théorie des graphes soit parce que l'analyse empirique donne à penser qu'ils sont assez étroitement liés à d'autres aspects du développement régional.

Il est possible de formaliser les réseaux de transport de façon à pouvoir reconnaître des propriétés fondamentales et, grâce à celles-ci, ne pas aborder de front les réseaux de transport eux-mêmes. Nous avons effleuré ce procédé de simplification au chapitre 3 (pp. 83-87), en montrant la façon dont le réseau ferroviaire de Sardaigne, tel qu'il se présente de prime abord, peut être ramené à un schéma simple de points reliés par des segments de droite (fig. 3.9).

La figure 8.14 A présente un exemple simple de réseau abstrait; il s'agit de deux réseaux séparés (*sous-graphes*) p_1 et p_2 , dont chacun est formé par une série d'itinéraires (*arêtes*) e_1, e_2, \dots, e_n , et qui relie une série de nœuds (*sommets*) v_1, v_2, \dots, v_n . On connaît aussi la distance mesurée le long de chaque itinéraire (*longueur des arêtes*, ou *valuation*) d_e . Ces quatre variables, p , e , v et d_e , constituent les éléments de base, dont diverses combinaisons forment les indices plus complexes calculés par Kansky. Par souci de commodité, ces indices sont groupés ici, simplement, en indices de centralité, indices de connexité, indices de forme.

1° Le premier indice de *centralité*, créé par König en 1936, est appelé ici nombre de König (Kansky, 1963, pp. 28-29). Il est égal au nombre maximal d'arêtes constituant le chemin le plus court d'un sommet à un autre sommet quelconque du réseau. Il est indiqué, pour chaque sommet, sur la figure 8.14 B. C'est donc un indice de distance topologique, exprimée en nombre d'arêtes, et qui sous-entend que les sommets dont le nombre de König est petit (le sommet dont le nombre est 2 sur la figure 8.14 B) occupent une position centrale dans le réseau de transport abstrait.

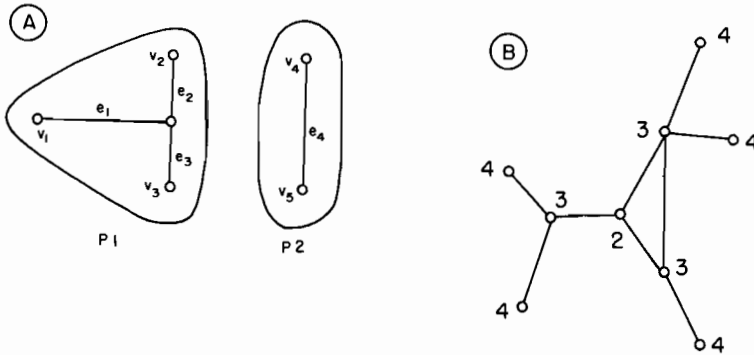


Fig. 8.14 — A. Variables fondamentales des réseaux : sommets (v), arêtes (e) et sous-graphes (p). — B. Indice de centralité des sommets : nombres de König.

Source : KANSKY, 1963, pp. 11, 28.

On saisit mieux la signification de cet indice en pensant aux arrêts et aux retards que représentent les nœuds dans bien des mouvements de circulation (par exemple dans les transports routiers); les points dont le nombre de König est petit apparaissent alors comme réellement « proches » du centre du réseau. En tout cas, on peut réintroduire dans les calculs la distance d_e évaluée en kilomètres, ou en temps, et reprendre l'examen des nœuds dont le nombre de König est petit, afin de choisir la position centrale.

2° Le plus simple indice de *connexité* d'un réseau de transport est l'indice *Beta*, e/v , qui rapporte, l'une à l'autre, deux des quatre variables fondamentales : e , le nombre d'arêtes, et v , le nombre de sommets (Kansky, 1963, pp. 16-18). Sur la figure 3.15, le nombre de sommets reste constamment égal à sept, tandis que le nombre des arêtes qui les relie augmente progressivement, passant de six à neuf. A mesure que le nombre d'arêtes augmente, la connexité entre les sommets s'élève et l'indice Beta passe progressivement de 0,86 à 1,00, puis à 1,14 et enfin à 1,28. Les valeurs de l'indice s'étendent de zéro à 3, valeurs extrêmes; les valeurs inférieures à 1 caractérisent les arbres et les graphes non connexes (fig. 8.15 A), la valeur 1 un réseau comportant un seul circuit (fig. 8.15 B), les valeurs comprises entre 1 et 3 un réseau complexe (fig. 8.15 C et D). Des exemples concrets de variation de l'indice, concernant les réseaux ferroviaires de dix-huit pays, sont donnés sur la figure 3.8.

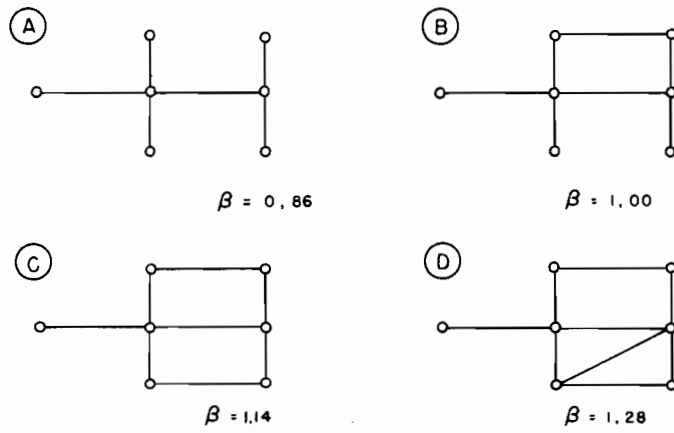


Fig. 8.15 — Comparaison de la connectivité de réseaux, au moyen de l'indice Beta.
 Source : KANSKY, 1963, p. 11.

3° La *forme* d'un réseau est un concept plus difficile à saisir. Nous commençons ici par le concept de « diamètre », qui est en soi un indice peu significatif pour caractériser les réseaux de transport, mais qui permet de passer à un indice plus complexe mais plus utile de la forme des réseaux. Le diamètre δ mesure la longueur topologique du graphe; il est égal au nombre d'arêtes constituant le chemin le plus court entre les sommets les plus distants l'un de l'autre. Sur la figure 8.16, les valeurs du diamètre varient de 2 à 4; elles augmentent en même temps que la longueur topologique du graphe, mais diminuent quand les connections sont améliorées entre les sommets. Ainsi, le troisième et le quatrième graphe de la série ont des diamètres différents, bien que leur longueur topologique soit la même.

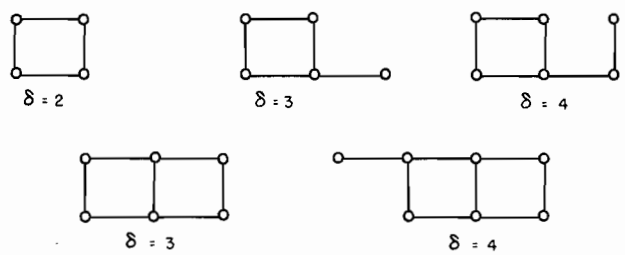


Fig. 8.16 — Calcul du diamètre de réseaux (δ).
 Source : KANSKY, 1963, p. 13.

Liant ce diamètre δ aux dimensions réelles du réseau, Kansky (1963, pp. 21-23) a proposé un indice de forme π égal à C/d , C étant la longueur totale, en miles, du réseau de transport, et d la longueur totale, en miles, de son diamètre. La figure 8.17 A

représente un réseau dont la longueur totale, en miles, est $C = 150$. Le diamètre de ce graphe, calculé comme sur la figure précédente, a pour valeur : $\delta = 4$. Cependant, il n'existe pas un diamètre unique : six chemins satisfont au critère de diamètre minimal : la localisation et la longueur de ces chemins sont indiquées sur la figure 8.17 B. La longueur moyenne de ces six chemins diamètres est de 55 miles ; l'indice de forme π est donc égal à 150 divisé par 55, soit 2,73.

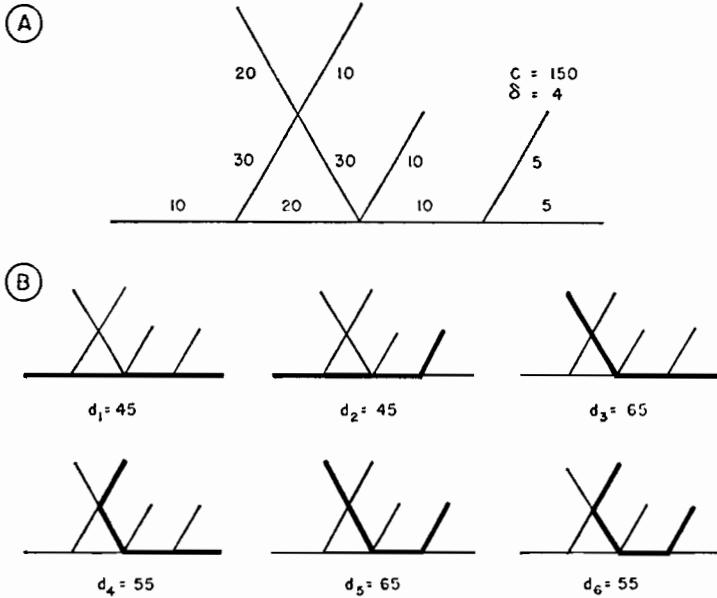


Fig. 8.17 — Calcul d'un indice de forme correspondant à un réseau de voies imaginé.

Source : KANSKY, 1963, p. 23.

Dans la réalité, les indices de forme présentent des variations considérables. Dans les pays développés, comme la France, ils peuvent être proches de 30, alors que dans les pays sous-développés, comme la Bolivie, leur valeur, calculée pour les réseaux ferroviaires, peut être proche de 1 ; il est tout à fait clair que π constitue un indice sensible de la situation économique d'un réseau de transport (fig. 3.8).

LA DÉFINITION DES RÉGIONS

Si les régions sont traditionnellement un thème central de leurs études, les géographes ont cependant toujours été curieusement réservés quant aux façons de définir les régions. Cette réticence est regrettable, car c'est précisément dans ce domaine que la géographie humaine a beaucoup à offrir aux autres sciences sociales, aux pouvoirs publics et au monde des affaires. Des géographes ont déjà travaillé à améliorer la répartition régionale des hôpitaux (Godlund, 1961) et des écoles (Yeates, 1963) et à réviser les limites administratives locales. Ce chapitre rassemble les techniques employées pour délimiter et regrouper les régions et aborde le problème, connexe mais plus difficile, des composantes d'échelle dans la structure régionale.

1. LE PROBLÈME DE L'IDENTIFICATION DES RÉGIONS

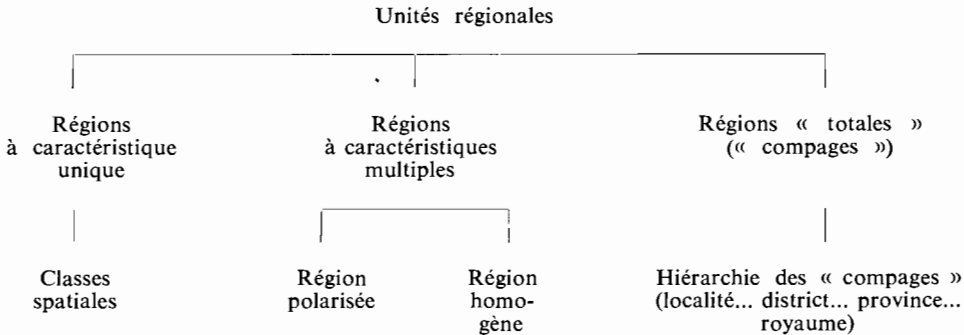
Le concept de région

L'étude de la région est au centre de la géographie, et la plupart des « classiques » — les ouvrages de Demangeon sur la Picardie, de Sauer sur les Ozarks, de Bowman sur les Andes — sont des monographies régionales. Malgré de vives attaques lancées par des auteurs très divers, notamment par Kimble (*in* Stamp et Wooldridge, 1951, pp. 151-174) l'étude régionale reste l'une des façons les plus logiques et les plus satisfaisantes d'organiser l'information géographique.

La plupart des systèmes de hiérarchie régionale élaborés jusqu'ici, celui de Passarge par exemple (1929), peuvent être ramenés aux catégories générales définies par Whittlesey (*in* James, Jones et Wright, 1954). Cet auteur distingue trois grandes catégories de régions (tableau 9.1) définies d'après le nombre des critères employés pour délimiter la région; deux de ces catégories cependant, la région à caractéristique unique et la région « totale », se rencontrent en fait beaucoup moins couramment que la catégorie intermédiaire. Les régions à caractéristiques multiples se divisent en deux catégories principales : les régions « homogènes » (« formelles »), qui sont uniformes dans toute leur étendue, et les régions « polarisées » ou « nodales », qui sont organisées par rapport à un foyer central auquel elles sont liées par des voies de circulation.

TABLEAU 9.1

CATÉGORIES DE RÉGIONS



Source : D. WHITTLESEY, *in* P. E. JAMES, C. F. JONES, et J. K. WRIGHT, *American Geography : Inventory and Prospect*, 1954, pp. 32-51.

Ces catégories, si utiles soient-elles, n'ont guère eu d'effet positif sur l'organisation des publications géographiques; la plupart des géographes paraissent employer des divisions *ad hoc*, destinées à répondre à des besoins spécifiques d'enseignement ou de recherche.

LES RÉGIONS, PROBLÈME TAXONOMIQUE

L'incertitude qui règne actuellement dans la réflexion des géographes sur la région provient en grande partie de ce que nous avons appelé le point de vue « exceptionnaliste » (chap. 1, section 1). Bunge (1962, pp. 14-26) reproche au schéma de Whittlesey de traiter les régions comme si les problèmes de classification qu'elles posent étaient absolument spécifiques et insiste sur l'idée qu'ils constituent seulement l'aspect spatial d'un problème de classification commun à toutes les sciences. On peut ainsi cataloguer un certain nombre de termes couramment employés dans les publications géographiques et les ranger vis-à-vis de ceux qui leur correspondent dans une classification de caractère général : « région à caractéristique unique » peut être ramenée à « catégorie unique », « limite de région » à « limite de classe », « région homogène » à « classe possédant une variance faible ». Bunge soutient que, loin de déprécier la géographie régionale, cette démarche place la géographie aux côtés des sciences de la nature, dont plusieurs sont passées par une phase taxonomique à un certain moment de leur évolution (la chimie par exemple) ou bien continuent à porter un grand intérêt à la *taxonomie* (la botanique par exemple). Des conventions admises dans les recherches géographiques, comme le fait d'ignorer soit les océans soit les étendues continentales du monde dans la plupart des systèmes de régionalisation qui ne sont pas fondés sur le climat, peuvent être rapprochées des conventions admises dans les sciences de la nature. En biologie, par exemple, on considère couramment les « règnes » végétal et minéral comme séparés, alors même qu'ils font conjointement partie de l'ensemble de la biologie.

Bunge a sans doute raison de placer la région dans l'ensemble des problèmes généraux de classification; néanmoins, le problème difficile de la localisation absolue demeure. De quelque façon qu'elles soient classées, les régions conservent un caractère unique : leur localisation. Il est certain que le Centre du Chili serait affecté à une classe zonale *méditerranéenne* dans une classification faite du point de vue du climat et de l'agriculture; il est tout aussi certain que cette région aurait des propriétés uniques, du fait de sa localisation dans le Sud de l'*Amérique du Sud*.

LES RÉGIONS ET LA THÉORIE DES ENSEMBLES

L'établissement d'une relation entre la classification régionale et l'étude mathématique des ensembles (Fletcher, 1964, pp. 121-183) ouvre une voie inexploree de l'étude régionale. Quelques-unes des possibilités de cette méthode peuvent être montrées sur les diagrammes de Venn (fig. 9.1 à 9.3) qui symbolisent les pays de l'hémisphère américain. En appelant *ensemble* cette collection de pays et *élément* de l'ensemble chaque pays pris à part, on peut faire apparaître, grâce aux diagrammes de Venn, deux types de classification d'après la localisation. Une différenciation simple entre deux groupes qui s'excluent mutuellement, par exemple l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, est représentée par les régions α et β de la figure 9.1 A. D'autre part, un type hiérarchique de classification régionale, par exemple « la Bolivie à l'intérieur de l'Amérique du Sud, à l'intérieur de l'hémisphère américain », est repré-

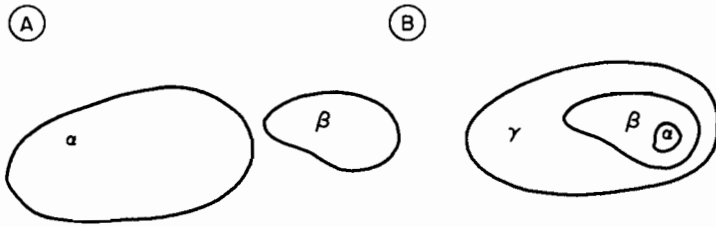


Fig. 9.1 — Diagrammes de Venn : structure régionale comprenant deux ensembles.

senté par les régions α , β et γ de la figure 9.1 B. Dans une telle perspective, la carte apparaît comme un type spécial de diagramme de Venn.

Un cas plus compliqué se présente lorsque les régions ne sont pas entièrement définies à partir du seul critère de localisation. Soit un ensemble formé par cinq pays tropicaux, et un second ensemble de onze pays sous-développés, combien d'éléments y a-t-il?

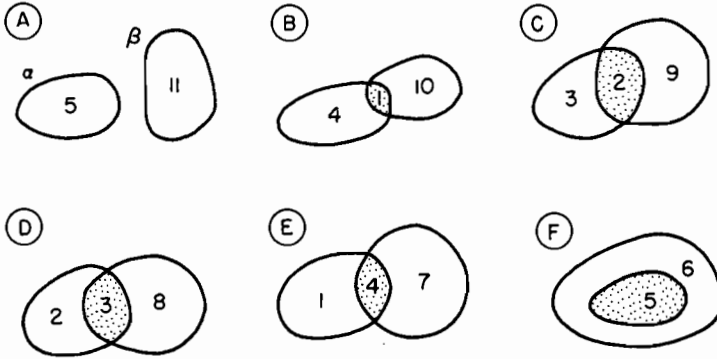


Fig. 9.2 — Possibilités d'intersection des ensembles régionaux α et β .
Source : FLETCHER, 1964, p. 125.

La figure 9.2 montre, au moyen de diagrammes de Venn, qu'il existe théoriquement six possibilités, qui vont du cas A, où les deux ensembles sont disjoints (aucun pays tropical n'est sous-développé), au cas F, où l'ensemble des pays tropicaux est inclus dans l'ensemble des onze pays sous-développés (les cinq pays tropicaux sont tous sous-développés).

Des relations beaucoup plus complexes peuvent exister. En combinant les deux exemples précédents, on obtient trois ensembles : les pays d'Amérique α , les pays tropicaux β , les pays sous-développés γ . On peut alors associer les trois ensembles comme sur la figure 9.3 A. L'intersection des diagrammes de Venn fait apparaître sept catégories dont les pays peuvent relever. Ainsi les États-Unis (1), qui appartiennent à l'ensemble américain mais non aux ensembles tropical et sous-développé, s'opposent à la Colombie (2), qui appartient à la fois aux ensembles américain, tropical

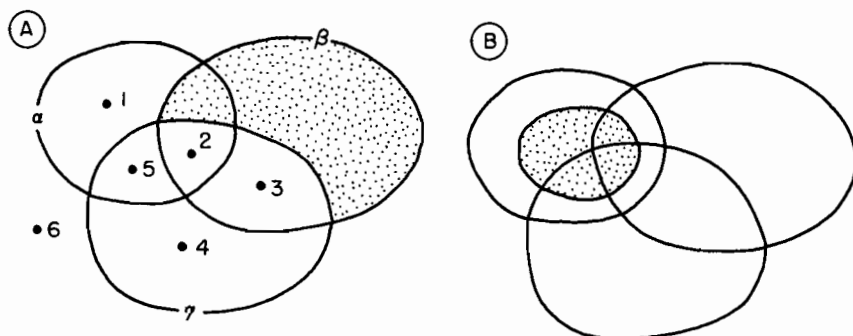


Fig. 9.3 — Diagrammes de Venn : régions groupées en trois ensembles (A) et quatre ensembles (B).

et sous-développé. Des pays tels que l'Ouganda (3), la Chine (4), le Chili (5), appartiennent à d'autres parties du diagramme, tandis que le Royaume-Uni est à l'extérieur de ces ensembles (mais appartient à l'ensemble plus grand formé par tous les pays du monde). Les deux surfaces en grisé représentent des parties vides des ensembles, c'est-à-dire : 1^o les pays tropicaux non américains qui ne sont pas sous-développés; 2^o les pays tropicaux américains qui ne sont pas sous-développés. Les implications de ce résultat ont été en grande partie corroborés par Berry (1960) dans son étude sur la distribution des pays économiquement attardés. La figure 9.3 B suggère la possibilité de pousser plus loin l'élaboration de diagrammes de Venn, en introduisant l'Amérique Centrale (en grisé) comme sous-ensemble distinct de l'ensemble américain α .

Ces relations sont habituellement exprimées par des symboles. Ainsi, on peut exprimer la figure 9.2 F par : $\beta \subset \gamma$, ce qu'on lit : « β est inclus dans γ ». Ce type symbolique d'énoncé logique ne se rencontre guère dans les publications géographiques, mais commence à être employé (cf. par exemple Kansky, 1963, pp. 122-127) dans les exposés de recherches; il pourrait bien devenir le langage formalisé de nos théories, régionales et autres, dont il permettrait de mettre en évidence les illogismes éventuels (cf. pp. 343-344).

L'analyse qualitative : les superpositions de limites

Des régions comme le « Sud », aux États-Unis, ou le « Languedoc » en France, peuvent être identifiées de façon informelle, presque intuitivement. Même aux États-Unis, le provincialisme persiste dans les attitudes sociales, les comportements politiques et la littérature (Jensen, 1951), et ces régions définies par la conscience sociale ont été employées par Paterson (1960) comme base de découpage régional, dans un manuel sur l'Amérique du Nord. Au premier abord, de telles régions paraissent satisfaisantes; mais elles ne restent distinctes qu'observées à une certaine distance; examinées de près, elles se dissolvent en une nouvelle série de « secteurs caractéristiques » encore plus petits. Comme Wrigley le démontre (in Chorley et Haggett, 1965-A,

chap. 1), Vidal de la Blache, à la fin de sa vie, considérait même les « pays » de France, pierres de touche de l'identité régionale, avec un scepticisme croissant.

Sinnhuber (1954) a étudié la gamme étendue des définitions de l'Europe centrale, données sous diverses désignations (Central Europe, Mitteleuropa...). Puisant dans quelque seize livres de géographie (de celui de Schjerning (1914) à celui de Gottmann (1951)), Sinnhuber montre la variété des définitions régionales (fig. 9.4 A). Fait surprenant, des surfaces englobées dans le terme Europe centrale débordent les limites de la carte : la péninsule ibérique est la seule partie de l'Europe qui n'y ait pas été rattachée par un auteur au moins ! Inversement, la surface sur laquelle tous les auteurs s'accordent est remarquablement petite : elle ne dépasse pas l'Autriche et la Bohême-Moravie ; cette surface est en grisé sur la figure 9.4 A.

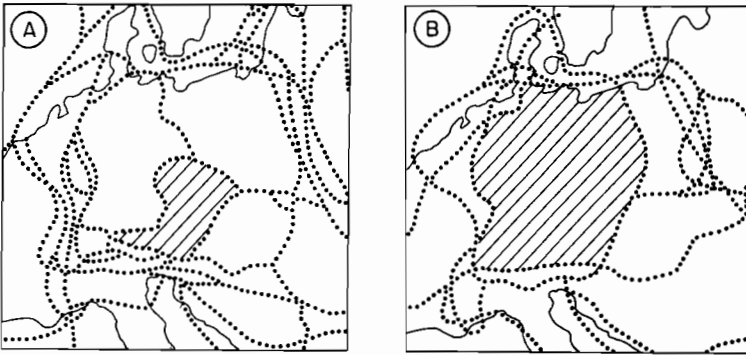


Fig. 9.4 — Diverses définitions de l'Europe centrale ($G = 2,6$) d'après des critères humains (A) et physiques (B). Les surfaces englobées dans toutes les définitions sont en grisé.

Source : SINNHUBER, 1954, pp. 19, 24.

Le fait que ce noyau ne constitue pas lui-même une solution adéquate apparaît sur la carte présentée en vis-à-vis (fig. 9.4 B), qui est réalisée d'après six conceptions de l'Europe centrale énoncées dans des livres de géographie datant d'une période comparable (1887 à 1937), mais fondées sur des critères physiques. Cette carte fait apparaître, en même temps que des différences moindres entre les définitions, une grande aire centrale qui englobe le noyau Autriche-Bohême-Moravie de l'analyse précédente.

La superposition de limites présente un grand avantage : la simplicité. Elle n'exige guère plus que de tracer ces limites sur un fond de carte. Green (1955) a utilisé ce procédé pour traiter le problème de la démarcation des zones d'influence des deux principales villes de la côte orientale des États-Unis, New York et Boston. Des tentatives antérieures, celle de Park et Newcomb, fondée sur la circulation des journaux, et celle du National Resources Committee avaient abouti à la définition de limites très différentes : les premiers avaient placé l'État du Connecticut dans le champ de Boston, le second en grande partie dans le champ de New York.

Pour résoudre ce problème, Green a cartographié séparément sept indicateurs

LA DÉFINITION DES RÉGIONS

relatifs aux transports, aux communications, à l'agriculture, aux loisirs, à l'industrie et aux flux financiers. Plus précisément, ces indicateurs étaient les suivants : 1° achats de tickets de chemin de fer; 2° estimation des transports de marchandises par camions; 3° circulation des journaux des métropoles; 4° appels téléphoniques à longue distance; 5° origine des vacanciers; 6° adresses des directeurs des principales entreprises industrielles des métropoles; 7° correspondants, dans les métropoles, des banques régionales. Ces sept indicateurs déterminent une série de courbes qui, évidemment, ne coïncident pas (fig. 9.5). Green a fait la synthèse des résultats donnés par ces courbes, en interpolant entre elles une limite médiane (en trait épais sur la figure 9.5). De plus,

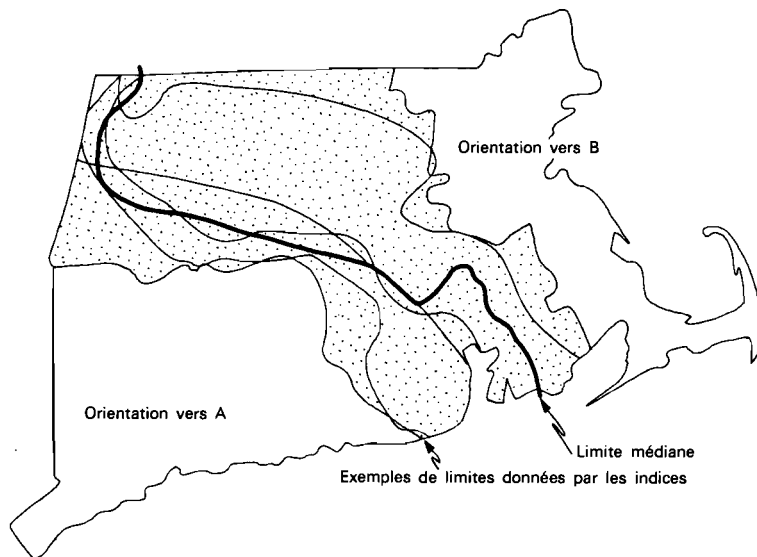


Fig. 9.5 — Zone de chevauchement (en pointillé) définie par les essais de démarcation des champs d'influence urbaine de Boston et de New York dans le Sud de la Nouvelle-Angleterre ($G = 4,1$).

Source : GREEN, 1955, pp. 284-300.

il a pu isoler une aire A totalement orientée, d'après tous les indicateurs, vers New York, et une aire B orientée de même vers Boston. Cette étude de Green a montré, de façon assez concluante, que le Connecticut, État traditionnellement rattaché à la « Nouvelle-Angleterre », est presque totalement orienté vers New York.

Le procédé de la superposition de limites est d'un intérêt évident pour la détermination rapide du noyau central d'une région; mais un élément d'incertitude demeure quant à la valeur de cette méthode pour le tracé de limites. Par exemple, en utilisant une ligne médiane, on présuppose que toutes les limites particulières qu'elle représente sont de valeur égale en tant qu'éléments de délimitation régionale. On peut aussi retenir certaines limites et en éliminer d'autres. Il est donc compréhensible que la recherche géographique se soit tournée, au cours de la dernière décennie, vers l'élaboration de méthodes plus sûres d'identification des régions.

L'analyse quantitative

Quatre méthodes quantitatives — les polygones de Thiessen, les calculs de minimisation de la distance, l'analyse discriminante et la théorie des graphes — sont exposées ici; mais la recherche progresse si vite qu'on peut les considérer comme un simple échantillon de la gamme des techniques possibles d'identification. Étant donné l'importance économique de la délimitation des régions, tant pour les pouvoirs publics que pour les entreprises privées, un progrès rapide est assuré dans ce domaine, notamment grâce à l'introduction des techniques de recherche opérationnelle et à l'emploi des ordinateurs (Kao, 1963).

LES POLYGONES DE THIESSEN

Bogue (1949, p. 17) a utilisé un procédé entièrement géométrique pour délimiter les aires d'influence des 67 centres métropolitains qu'il a définis à l'intérieur des États-Unis. Ce procédé est fondé sur la méthode des « polygones de Thiessen » employé par l'U.S. Weather Bureau pour dresser des cartes pluviométriques générales d'un bassin de réception, à partir des données enregistrées par un réseau de stations météorologiques. La figure 9.6 illustre la méthode de tracé des limites :

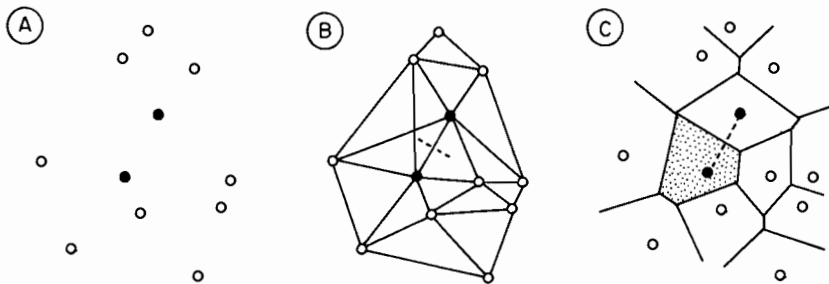


Fig. 9.6 — Étapes de la construction de polygones de Thiessen autour de centres.
Source : KOPEC, 1963, p. 25.

1° on trace des segments de droite dont chacun joint un centre à chaque centre voisin; 2° on détermine le milieu de chacun de ces segments; 3° on trace la perpendiculaire à chaque segment passant par son milieu; autour de chaque centre, ces perpendiculaires forment les limites d'un polygone; 4° on inclut chacun des comtés qui sont à cheval sur ces limites dans le polygone où se trouve la plus grande partie de la surface du comté.

La validité de la méthode repose sur deux hypothèses : 1° la surface située à l'intérieur des limites d'un polygone est plus proche du centre inclus dans ce polygone que de tout autre centre; ceci est une propriété géométrique simple du polygone de Thiessen; 2° une métropole domine réellement tous les points dont, géométriquement, elle est la plus proche. La seconde hypothèse est évidemment discutable, et Bogue

ne l'a employée comme hypothèse de travail qu'en l'absence d'autres critères nettement définis. Bogue, après avoir défini ses métropoles, leur attribue le même pouvoir d'attraction sur le pays environnant. Que ceci soit vrai pour des villes aussi différentes que New York et El Paso (Texas) semble contestable. L'emploi de lignes droites pour joindre les villes à travers les États-Unis revient en réalité à définir des routes aériennes, ce qui, selon Taaffe, constitue un élément valable de la hiérarchie urbaine.

En pratique, tracer des polygones de Thiessen prend beaucoup de temps, et, habituellement, on ne sait trop comment choisir les segments de liaison qui servent à dessiner les limites du polygone autour d'un centre donné. Kopec (1963) a signalé une autre méthode de construction, qui consiste à tracer des arcs de cercle de même rayon à partir de centres voisins et à situer le côté d'un polygone en tirant une droite passant par les points d'intersection des arcs. Cette méthode supprime la nécessité de tracer les segments joignant les centres et réduit les chances d'erreur qui découlent de l'emploi de diagonales inadéquates au cours de la construction.

LA MINIMISATION DE LA DISTANCE

On commence seulement à prendre conscience des conséquences que peut avoir l'introduction de l'ordinateur quant aux problèmes de constitution de régions. A l'aide d'un ordinateur IBM 709, Yeates (1963) a montré comment optimiser la distance par rapport à un certain nombre de nœuds en employant une méthode de recherche opérationnelle mise au point pour résoudre des problèmes de transport. Dans le langage de l'économie, cette solution consiste à minimiser le coût de transport d'un produit à partir d'un ensemble de points de production vers un certain nombre de points de destination.

Yeates a illustré cette technique de délimitation de régions par l'exemple concret suivant : comment minimiser le coût du transport d'enfants vers l'école? Plus précisément, il s'agit du coût du transport des 2 900 élèves habitant le comté de Grant (Wisconsin) vers les treize *high schools* de ce comté. La localisation des écoles et des districts scolaires dans la partie centrale de l'aire étudiée par Yeates est représentée sur la figure 9.7 A.

Pour réduire l'ampleur des calculs, Yeates suppose les écoles et les domiciles des élèves situés au centre du secteur d'un mile carré dans lequel ils sont localisés, et redessine les limites des districts scolaires à partir de ce principe de simplification (fig. 9.7 B) en annexant l'ensemble d'un secteur d'un mile carré à un district scolaire, s'il est en majeure partie dans ce district. 754 secteurs étant occupés par les élèves des 13 écoles, le problème se trouve ramené à une matrice de 754 lignes et 13 colonnes. A partir de ces données, Yeates détermine les limites optimales par ordinateur, de telle sorte que : 1° la distance totale des domiciles aux écoles soit minimisée; 2° chaque école soit remplie selon sa capacité (en 1961). Sous certaines réserves, le problème peut se ramener à la résolution de l'expression algébrique :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij}, x_{ij} = \text{minimum}$$

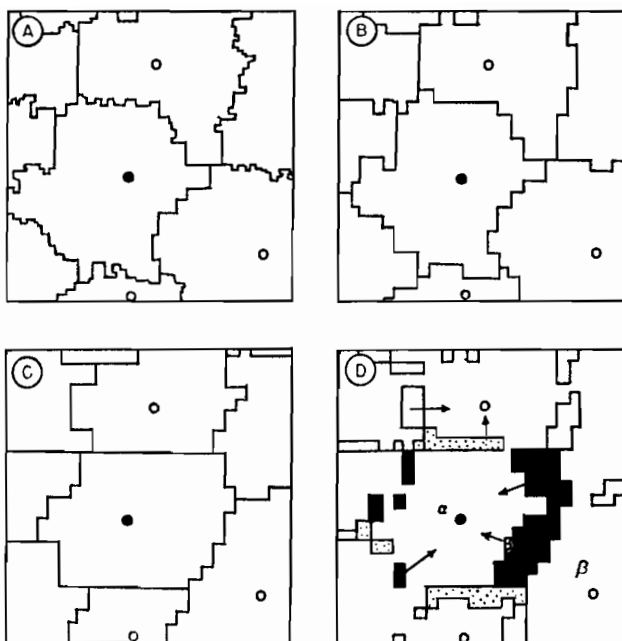


Fig. 9.7 — Technique de minimisation de la distance employée pour la construction de limites optimales; carré échantillon du comté de Grant (Wisconsin, États-Unis) ($G = 5,5$).

Source : YEATES, 1963, pp. 8, 9.

Dans cette formule, d_{ij} est la distance de la section i à n'importe quelle école j , et x_{ij} le nombre des élèves habitant dans la section i et affectés à l'école j .

Les limites qui résultent de cette opération de minimisation sont représentées sur la figure 9.7 C. La comparaison avec les limites des districts scolaires simplifiés fait apparaître des modifications et des chevauchements considérables. Les limites définies pour l'école de Lancaster, α , sur la figure 9.7 D, font apparaître un recul (en grisé) au nord et au sud, mais une avancée importante (en noir) vers l'est, aux dépens du district de l'école de Platteville, β .

Quelle est l'importance des modifications apportées par Yeates? Deux facteurs rendent l'analyse plus difficile : d'une part le fait que les limites théoriques sont fondées sur la répartition des élèves au cours de la seule année 1961, alors que les districts scolaires réels doivent rester fixes pendant des périodes plus longues; d'autre part la difficulté qu'il y a à comparer la distance parcourue réellement, le long des routes, par les élèves, et la distance à vol d'oiseau employée dans l'analyse théorique.

Le tableau 9.2 présente les résultats obtenus pour deux écoles prises comme exemples dans l'aire étudiée, Boscobel et Platteville : une comparaison des distances, tant par la route qu'à vol d'oiseau, indique des économies de l'ordre de 0,4 à 0,3 mile. En l'absence de renseignements chiffrés sur les coûts de transport, une approximation grossière

TABLEAU 9.2

DISTANCES PARCOURUES, EN MILES, DANS LE CADRE DE DISTRICTS DIFFÉREMMENT LIMITÉS¹

	<i>High school</i> de Boscobel	<i>High school</i> de Platteville
Districts scolaires réels :		
Distance moyenne jusqu'à l'école, par la route . . .	6,7	6,4
Distance moyenne jusqu'à l'école, en ligne droite . . .	5,5	5,6
Districts scolaires théoriques :		
Distance moyenne jusqu'à l'école, en ligne droite . . .	5,1	5,3
Estimation de l'économie obtenue sur la distance en ligne droite	0,4	0,3

1. Comté de Grant, Wisconsin, États-Unis, 1961.

Source : M. YEATES, in *Professional Geographer*, 1963, p. 9.

indique que l'adoption éventuelle des limites revues et corrigées permettrait d'économiser 3 à 4 000 dollars par an sur les transports scolaires.

La valeur de la méthode de Yeates a été confirmée par plusieurs auteurs, par exemple Claesen (1964). Déjà le comté de Somerset (Angleterre), où se posaient des problèmes ardues (écoliers dispersés dans la campagne et petit nombre d'écoles), a appliqué avec succès ce type d'analyse à l'organisation des transports scolaires. Dans le domaine de la localisation des industries, Garrison (1959, pp. 471-482) a montré que cette méthode pouvait être appliquée à la réduction des coûts de distribution de produits tels que le pétrole.

L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Une méthode qui marque un nouveau progrès dans les techniques de tracé de limites sera vraisemblablement de plus en plus employée à l'avenir : l'analyse discriminante. Sebestyen (1962, pp. 69-71) a indiqué comment employer cette méthode pour établir les critères de classification à appliquer à des distributions géographiques complexes. Soit deux phénomènes ζ et η , distribués sur un plan selon un schéma complexe comprenant quatre groupements (fig. 9.8 A). Sebestyen montre que l'on peut calculer des courbes polynomiales de plus en plus complexes, qui, lorsqu'elles sont superposées à la distribution, la partagent en secteurs dans lesquels doivent théoriquement se trouver ζ et η . Un simple polynôme du premier degré définit une ligne droite (fig. 9.8 B); en revanche un polynôme du sixième degré définit une courbe complexe (fig. 9.8 D). Avec la droite, un tiers des points est mal classé, tandis qu'avec la courbe complexe les deux distributions ζ et η sont classées avec exactitude. Il existe des solutions intermédiaires, parmi lesquelles le polynôme du second degré (fig. 9.8 C) apparaît comme particulièrement efficace, en ce sens qu'il ne classe de

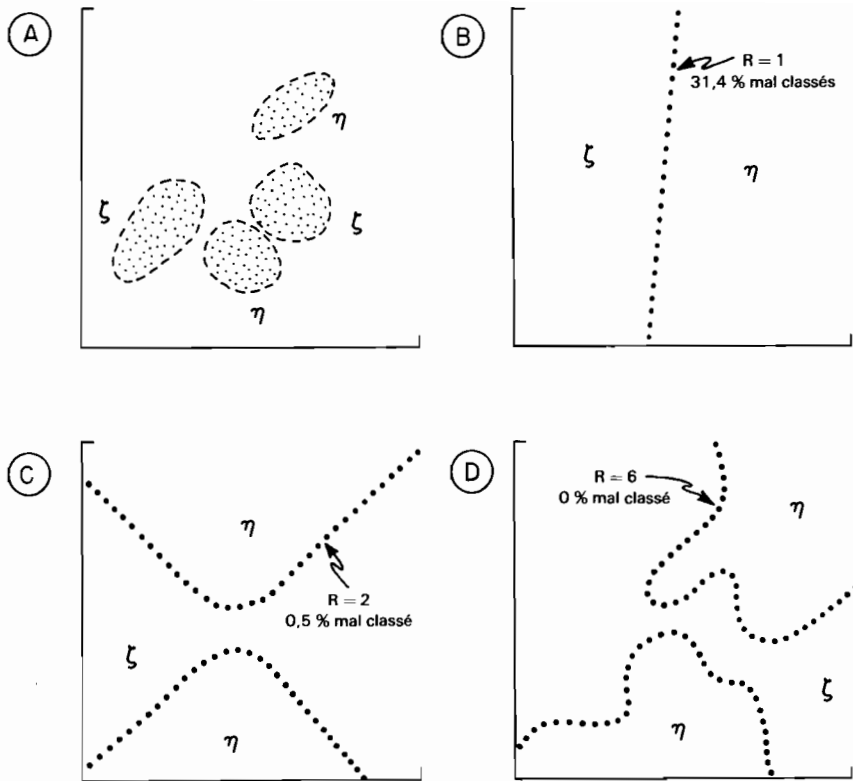


Fig. 9.8 — Emploi d'une analyse discriminante de degré élevé pour classer une distribution cartographique (ζ et η) en régions distinctes.

Source : SEBESTYEN, 1962, pp. 69-71.

façon erronée que 0,5 % des distributions ζ et η , tout en constituant une solution mathématiquement simple.

L'introduction de la cartographie automatique (Tobler, 1959) incite à penser que ce type de procédé de classification, en dépit de la complexité des calculs qu'il nécessite, peut être appliqué au problème du tracé probable d'une limite à travers des surfaces pour lesquelles l'information est rare ou inexistante.

L'INTERPRÉTATION DES RÉGIONS PAR LA THÉORIE DES GRAPHS

Une des méthodes d'analyse qui ouvrent les plus grandes possibilités est la théorie des graphes (Harary et Norman, 1953). Ses applications aux réseaux de transport (cf. pp. 83-85) et à leur description quantitative (cf. pp. 266-269) ont été exposées ci-dessus. Nystuen et Dacey (1961) ont montré comment employer la même technique d'analyse pour définir les structures régionales : étant donné un ensemble de villes réparties sur une surface et une mesure de leur association, comment construire une hiérarchie régionale?

LA DÉFINITION DES RÉGIONS

Le tableau 9.3 présente une matrice de flux pour un ensemble de villes (*a, b, ...l*) : les nombres de la matrice mesurent le flux (par exemple le nombre d'appels téléphoniques) observé d'une ville à l'autre. Le flux qui va de la ville *d* à la ville *a* est ainsi de 19 unités, le flux qui va de la ville *k* à la ville *i* est de 12 unités, et ainsi de suite. Le rang de chaque ville correspond au total des flux dirigés vers elle; ce total et le rang correspondant sont indiqués en bas de chaque colonne; ainsi la ville *b*, avec un total de 337 unités, est la première ville, *j* la deuxième, etc. Les relations hiérarchiques entre villes sont déterminées par le plus grand des flux qui partent de chacune vers les autres; ces flux les plus grands sont indiqués sur la matrice par des chiffres en caractères gras. Généralement le flux le plus grand va vers une ville de rang supérieur (*flux nodal*). Ainsi, parmi les flux qui partent de *a*, le plus grand est celui qui va vers *b* (autrement dit : $a \rightarrow b$).

L'examen de la matrice montre cependant que, dans le cas de quatre villes (*b, e, g* et *j*), le flux le plus grand va vers une ville de rang inférieur. Ces villes forment les *points terminaux* du graphe.

TABLEAU 9.3

MATRICE DE FLUX ENTRE PAIRES DE VILLES¹

Vers la ville	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	Classe
A partir de la ville :													
<i>a</i>	00	75	15	20	28	02	03	02	01	20	01	00	Satellite
<i>b</i>	69	00	45	50	58	12	20	03	06	35	04	02	Dominante
<i>c</i>	05	51	00	12	40	00	06	01	03	15	00	01	Satellite
<i>d</i>	19	57	14	00	30	07	06	02	11	18	05	01	Satellite
<i>e</i>	07	40	48	26	00	07	10	02	37	39	12	06	Dominante
<i>f</i>	01	06	01	01	10	00	27	01	03	04	02	00	Satellite
<i>g</i>	02	16	03	03	13	31	00	03	18	08	03	01	Dominante
<i>h</i>	00	04	00	01	03	03	06	00	12	38	04	00	Satellite
<i>i</i>	02	28	03	06	43	04	16	12	00	98	13	01	Satellite
<i>j</i>	07	40	10	08	40	05	17	34	98	00	35	12	Dominante
<i>k</i>	01	08	02	01	18	00	06	05	12	30	00	15	Satellite
<i>l</i>	00	02	00	00	07	00	01	00	01	06	12	00	Satellite
Total	113	337	141	128	290	071	118	065	202	311	091	039	
Rang	8	1	5	6	3	10	7	11	4	2	9	12	

1. Données imaginées.

Source : J. D. NYSTUEN et M. F. DACEY, in *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 1961, p. 35.

En commençant par ces quatre points terminaux (fig. 9.9), on peut dessiner des graphes sur lesquels les huit autres villes sont reliées, directement ou indirectement, aux points terminaux, conformément au flux nodal partant de chaque ville. La structure hiérarchique qui résulte de cette opération décrit la structure nodale de la région en distinguant quatre groupements (*sous-graphes*) d'importance différente.

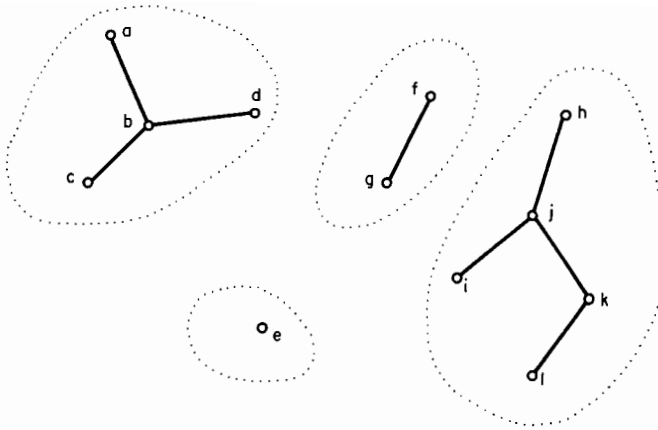


Fig. 9.9 — Structure nodale correspondant à la matrice du tableau 9.3, d'après la théorie des graphes.

Source : NYSTUEN et DACEY, 1961, p. 35.

Nystuen et Dacey (1961, pp. 38-42) ont choisi l'État de Washington pour donner un exemple d'application de cette méthode à une région particulière. A propos de quarante villes situées dans cet État ou tout près de lui (fig. 9.10 A), ils ont construit une matrice en utilisant des statistiques de flux concernant le trafic téléphonique à longue distance. Certaines villes, situées au nord de Seattle, ont été omises, faute de données. L'analyse de la matrice, faite d'après la théorie des graphes, a fait apparaître : 1° une hiérarchie régionale importante centrée sur Seattle (α) et ramifiée en hiérarchies

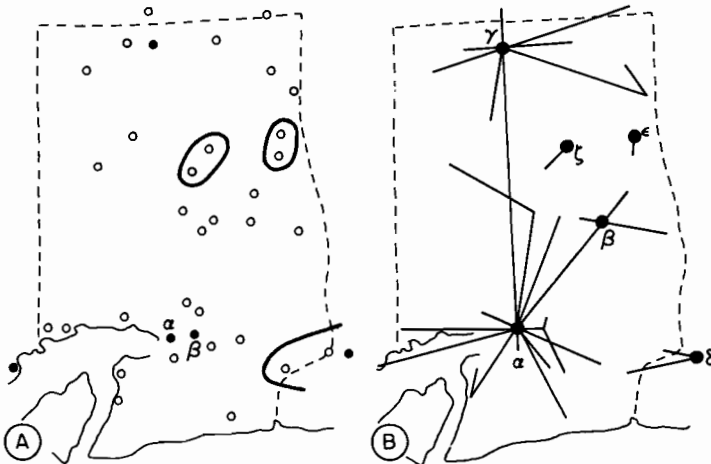


Fig. 9.10 — Structure nodale de l'État de Washington, dans le Nord-Ouest des États-Unis ($G = 3,5$) déterminée par analyse des flux entre villes fondée sur la théorie des graphes.

Source : NYSTUEN et DACEY, 1961, p. 39.

secondaires centrées sur Yakima (β) et Spokane (γ); 2^o un système séparé centré sur Portland (δ); 3^o deux petits systèmes indépendants centrés sur Pasco (ε) et Moses Lake (ζ) (fig. 9.10 B). Les résultats concordent assez bien avec d'autres observations empiriques sur l'organisation régionale de l'État, mais font ressortir un fait imprévu : l'indépendance de deux petits systèmes intérieurs.

Quoique élémentaire, cette application fait apparaître l'utilité de la théorie des graphes, qui permet de décider de la force relative des « liens » régionaux, et qui, à partir de données empiriques adéquates, peut probablement s'appliquer à la définition des régions, tant pour les besoins de l'administration que pour ceux du monde des affaires. De même que la méthode des « paires fondamentales », elle souffre d'une dépendance trop étroite à l'égard des flux dominants (aux dépens de l'ensemble des flux), mais des développements plus complexes de la théorie des graphes corrigeront probablement ce défaut.

2. LES PROBLÈMES DE RATTACHEMENT

Nous avons vu ci-dessus comment identifier des régions en définissant successivement leur noyau central et leurs limites. Cette méthode présente un intérêt particulier quand il s'agit d'étudier des régions nodales dont le centre est bien établi : le problème se ramène alors à identifier leurs limites. Mais on a plus souvent affaire à des unités spatiales (États, comtés, etc.) dont les limites sont déjà établies; le problème est alors un problème d'affectation : il s'agit de placer ces unités dans une classe régionale donnée. Cette opération peut être faite soit par un simple procédé de classification par lequel les unités semblables sont regroupées compte non tenu de leur localisation, soit par un procédé plus complexe qui doit tenir compte à la fois de la localisation et de la contiguïté des secteurs.

Les méthodes générales de classification

L'ANALYSE DE LA DISTANCE DANS UN ESPACE À n DIMENSIONS

Dans la vie quotidienne, on groupe intuitivement les choses qui sont semblables ou « proches » l'une de l'autre. Ainsi, on parle des « enfants » comme d'un groupe composé d'individus proches l'un de l'autre par l'âge. Le mot « distance » n'est employé dans un sens non géographique que lorsqu'il s'agit de distances le long d'une échelle des âges. Berry (1958) a examiné plusieurs façons d'appliquer ce concept de distance à la classification de caractères géographiques.

Le concept d'espace à n dimensions est présenté ici au moyen des trois points α , β et γ de la figure 9.11. Dans le cas, simple, où il existe une seule dimension, représentée par un seul axe orienté V_1 (fig. 9.11 A), α et β sont proches l'un de l'autre. Ils restent proches l'un de l'autre quand on ajoute une deuxième dimension, représentée par l'axe orienté V_2 (fig. 9.11 B). Quand on ajoute une troisième dimension, représentée

par l'axe orienté V_3 (fig. 9.11 C), les positions relatives apparaissent modifiées : β est alors beaucoup plus proche de γ que de α . Il n'est pas possible de représenter graphiquement une quatrième dimension, un axe orienté V_4 , mais, mathématiquement, on peut ajouter autant de dimensions que l'on veut, de façon à obtenir un espace théorique à n dimensions.

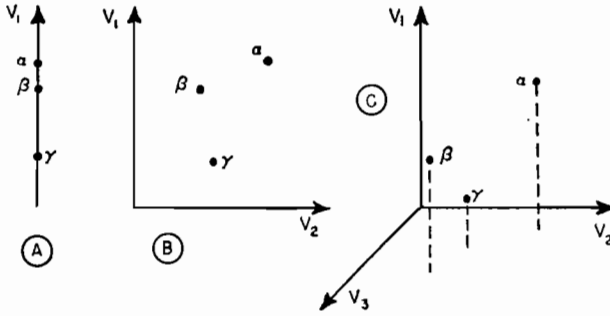


Fig. 9.11 — Repérage de trois valeurs (α , β et γ) dans un espace à une, à deux et à trois dimensions.

La distance entre deux points, dans un espace à n dimensions, est obtenue par application de la règle bien connue du « carré de l'hypoténuse », qui peut être écrite sous la forme condensée suivante :

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Dans cette formule, $i = 1, 2, \dots, n$, D est la distance entre les points x et y , x_i et y_i les valeurs des coordonnées i ; les axes orientés sont orthogonaux (Berry, 1958, p. 301). Mahalanobis, Rao et Majumdar (1949) ont élaboré des calculs de distance généralisée plus complexes, dans lesquels doivent être prises en compte à la fois la valeur moyenne d'une région et la dispersion des unités qu'elle contient.

Le but de la classification est simplement dans ce cas de réunir en un seul groupe les secteurs qui sont proches l'un de l'autre (homogènes) dans un espace à n dimensions, et de distinguer les groupes qui sont éloignés l'un de l'autre (hétérogènes) dans cet espace.

Berry (1961-B) a exposé très clairement l'emploi de cette technique en prenant l'exemple des caractéristiques des activités de services dans les neuf grandes circonscriptions du recensement des États-Unis de 1954 (fig. 9.12 B). Dans cette étude, il s'est intéressé à six facteurs (définis, à partir d'une série de mesures, selon le procédé exposé au chapitre 8, p. 251), et a calculé les « distances généralisées entre points » (D^2) dans un espace à 6 dimensions. Cette opération a montré que, parmi les neuf circonscriptions, la Nouvelle-Angleterre (α) et le Centre-Nord-Est (β) avaient le plus

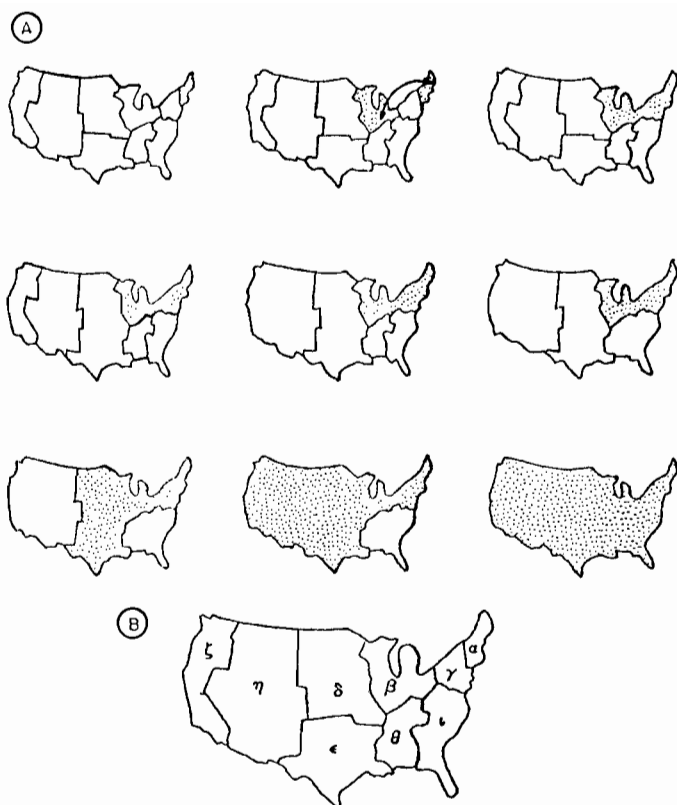


Fig. 9.12 — Étapes du groupement en régions des circonscriptions de recensement des États-Unis ($G = 1,8$) par analyse multivariée.
 Source : BERRY, 1961-B, p. 272.

de caractéristiques communes (avec une valeur D^2 de 0,69 seulement), alors que le Centre-Sud-Est, c'est-à-dire le cœur du « Sud » (θ) et la côte du Pacifique (ζ) étaient les plus dissemblables (avec une valeur D^2 proche de 35). En mettant ensemble les deux circonscriptions les plus « proches » (les plus semblables), Berry a ramené les neuf unités à huit. Puis il a calculé les distances généralisées entre les huit régions restantes, et rattaché la circonscription de la Moyenne Côte Atlantique (γ) à la région déjà formée par la Nouvelle-Angleterre et le Centre-Nord-Est. Par répétition de ce processus, il a progressivement réduit le nombre des régions, jusqu'à ce que, finalement, l'ensemble des États-Unis forme une seule région. Ces étapes successives sont représentées par les neuf cartes de la figure 9.12 A. Il peut donc exister neuf niveaux différents de division régionale des États-Unis. Chacune de ces divisions est valable à son niveau particulier; mais laquelle est, globalement, la plus valable?

Berry (1961-B, p. 273) montre qu'au cours de ce processus on gagne progressivement

en généralité, et on perd en précision. On obtient une vision parfaite du détail avec les neuf régions primitives, une excellente vue générale en considérant l'ensemble des États-Unis comme une unité. Il est possible d'évaluer cette perte du détail, à chaque étape, à l'aide de la distance généralisée mesurée auparavant (D^2 des régions regroupées) : elle va de zéro (avec les neuf circonscriptions) à 343,47 (avec une seule région).

La figure 9.13 représente cette perte progressive du détail : un arbre de classification (ou hiérarchie de classification) fait apparaître la combinaison progressive des régions telles qu'elles ont été formées, étape par étape, et cartographiées sur la figure 9.12 A ; la perte du détail (mesurée par le D^2 des régions regroupées) est portée sur une échelle logarithmique, ce qui exagère la très faible perte du détail subie au cours des cinq premières étapes du regroupement : 3,5 % seulement du détail ont été perdus au cours de ces cinq étapes, ce qui signifie que l'on peut apprendre presque autant en considérant les États-Unis comme formés de quatre grandes régions qu'en les considérant comme formés de neuf circonscriptions plus petites.

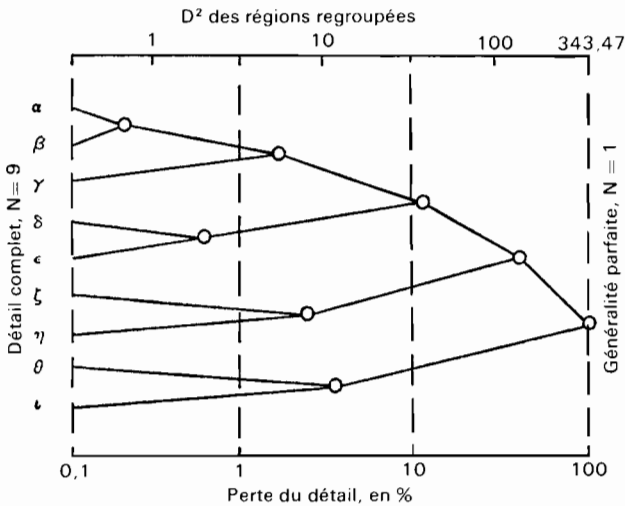


Fig. 9.13 — Arbre de classification correspondant au regroupement de régions de la figure 9.12; indication du pourcentage de perte du détail.

Source : BERRY, 1961-B, pp. 272, 273.

Les résultats obtenus par Berry, représentés sur la figure 9.13, impliquent qu'il faut choisir la division en régions qui correspond le mieux aux objectifs particuliers de la recherche en cours, mais qu'il faut aussi être conscient du fait que l'efficacité de ces divisions est relative. Supposons qu'il importe peu que les États-Unis soient divisés, du point de vue de la répartition des activités de services, en deux, en trois ou en quatre régions; alors l'analyse de la perte du détail faite ci-dessus donne à penser qu'il est préférable de prendre quatre régions (3,5 % de perte seulement) ou trois régions (10 % de perte) plutôt que deux (40 % de perte).

LA DÉFINITION DES RÉGIONS

L'EMPLOI DE LA VARIABLE KHI-CARRÉ (χ^2) DANS LES CLASSIFICATIONS

Lorsqu'on dispose seulement de données à l'échelle nominale, on peut recourir à une technique autre que l'analyse factorielle. C'est ainsi que deux botanistes, Williams et Lambert (1959-1962), ont employé la variable χ^2 à l'occasion de recherches faites à l'université de Southampton avec un ordinateur Pégase. Le programme a d'abord été conçu pour définir des régions écologiques à partir de données sur la végétation recueillies carré par carré, dans le cadre d'une grille, mais, depuis, il a été utilisé pour classer les villes de l'Est de l'Angleterre.

On obtient la variable χ^2 par application de la formule :

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k (n_j - v_j)^2 / v_j$$

où un ensemble de n valeurs est distribué en k classes, de sorte que la fréquence observée dans la classe j est n_j et que la fréquence théorique dans la même classe est v_j (Kendall et Buckland, 1957, p. 41). Gregory (1963, pp. 153-166) a donné des exemples de calcul de χ^2 , et de son application à des problèmes géographiques.

Pour faire cette analyse, on commence par une série d'unités (régions, points de peuplement, etc.) pour chacune desquelles on sait qu'un caractère est présent ou absent. On peut convertir ce premier tableau, qui indique la répartition des caractères par régions, en un second tableau dans lequel la liste des caractères est croisée avec elle-même. Dans la case où la ligne du caractère A croise la colonne du caractère B ,

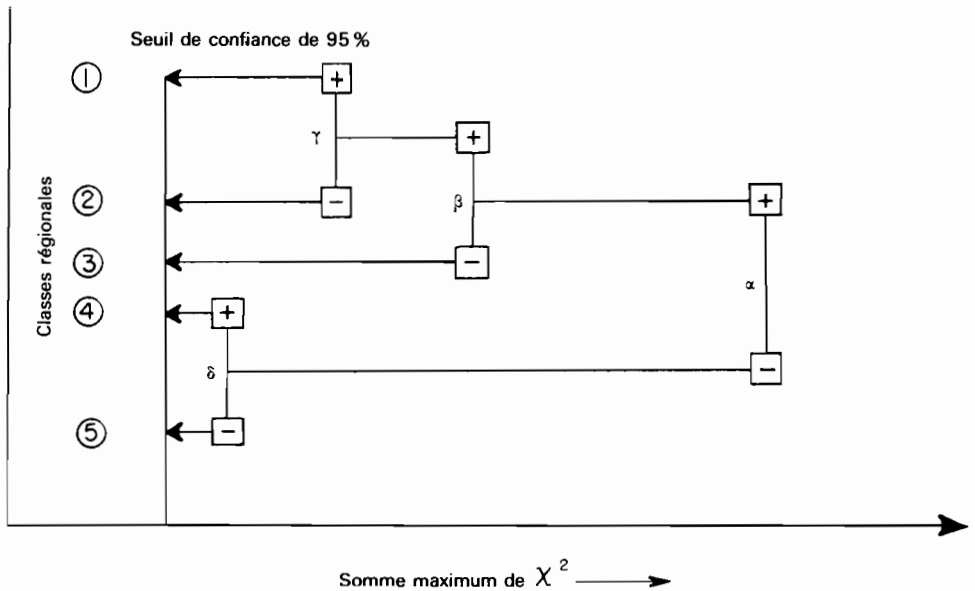


Fig. 9.14 — Division d'une distribution en classes régionales, par la méthode de la somme des χ^2 .
Source : WILLIAMS et LAMBERT, 1960, p. 692.

est portée une valeur de χ^2 , qui indique dans quelle mesure les deux caractères sont associés. Si cette valeur est élevée, on a la preuve que les deux caractères ne sont pas indépendants.

Williams a constaté qu'en additionnant les valeurs de χ^2 de chaque ligne (ou de chaque colonne), on pouvait calculer une somme correspondant à chaque espèce botanique, et aussi que l'espèce dont la colonne donnait la somme la plus élevée constituait l'indicateur le plus efficace pour une division en régions. Ainsi, les carrés de la grille peuvent être répartis en deux groupes, selon qu'ils possèdent ou non l'espèce-indicateur (c'est-à-dire l'espèce présentant la somme maximale de valeurs χ^2). Ensuite, les deux groupes peuvent de nouveau être scindés, d'après l'espèce présentant la deuxième somme la plus élevée, et ainsi de suite. Le schéma général de regroupement est représenté, par un exemple imaginé, sur la figure 9.14 : il s'agit d'une division en cinq classes régionales, fondée sur la présence (+) ou l'absence (-) de quatre espèces : α , β , γ et δ .

Bien des techniques de classification n'ont pas encore été adaptées à la délimitation de régions géographiques. Kershaw (1964, pp. 130-170) et Greig-Smith (1964, pp. 158-209) ont exposé dans leurs grandes lignes les nombreuses techniques qu'emploient les botanistes, et dont les spécialistes de géographie humaine n'ont pas encore pleinement exploré les possibilités.

Le rattachement d'unités spatiales à des groupements régionaux

Les méthodes brièvement exposées ci-dessus ne sont pas spécifiquement géographiques; elles ne font que classer les données géographiques. C'est le point de vue qu'adoptent Hagood et Price (1952, p. 542) quand ils affirment, à propos d'une classification des États-Unis en régions agricoles : « la Californie ne peut pas être mise dans la même région que le New Jersey, parce qu'elle en est séparée géographiquement ». De même, selon Bunge (1962, p. 16), c'est la prise en considération implicite de la catégorie de localisation qui confère à l'étude de la surface de la terre son caractère régional et non seulement typologique.

Quand on cherche à regrouper des régions contiguës, on doit faire une sorte de comparaison progressive entre chaque unité spatiale et ses voisines. En fait, il s'agit de savoir dans quelle mesure un secteur donné est assorti à ses voisins. Ainsi, dans le cas de la Californie, il s'agirait de comparer cet État avec les États limitrophes, l'Oregon, le Nevada et l'Arizona, mais non (tout au moins pendant les premières étapes de l'analyse) avec le Missouri et l'Oklahoma.

Deux techniques, parmi celles qui ont été employées avec quelque succès dans ce processus de comparaison, sont présentées ici : l'analyse de variance et l'analyse de corrélation.

L'ANALYSE DE VARIANCE

La variation globale que présente un ensemble d'observations peut être mesurée par sa *variance*, c'est-à-dire par la moyenne des carrés des écarts à la moyenne arith-

métique. Dans certains cas, la variance peut être décomposée en termes liés à des facteurs particuliers de variation. Des exemples d'application de ce type d'analyse à des problèmes géographiques sont donnés dans le livre de Gregory (1963, pp. 133-150) avec les indications nécessaires aux calculs.

Zobler (1958) a employé l'analyse de variance pour trancher la question suivante : en ce qui concerne la population employée dans l'industrie (nombre des travailleurs des industries primaires et de transformation en 1950), auquel des trois groupes d'États limitrophes, formant chacun une région, faut-il rattacher l'État de Virginie : la Moyenne Côte Atlantique, le Sud de la Côte Atlantique, ou le Centre-Sud-Est? Ces trois régions sont représentées sur la figure 9.15 A, où la Virginie occidentale apparaît en noir. L'étude des statistiques recueillies pour les États composant les trois régions et pour la Virginie occidentale ne donne aucune indication permettant de décider à quelle région l'État en question devrait être rattaché.

Zobler adopte donc une méthode plus rigoureuse, en partant du raisonnement suivant : quand on construit des régions à partir d'unités plus petites (qui sont, ici, des États), il existe deux facteurs de variation : variation entre les États à l'intérieur d'une région (variation intrarégionale) et variation entre les régions (variation interrégionale). Pour mesurer ces variations intra- et interrégionales, Zobler emploie l'analyse de variance, en considérant trois cas : il rattache la Virginie occidentale, tour à tour, à chacune des trois régions (tableau 9.4). Pour chaque cas, il divise la « variance interrégionale », qui mesure les variations des régions par rapport à la moyenne de toutes les régions, par la « variance intrarégionale » qui mesure les variations des États par rapport à leurs moyennes régionales respectives, de façon à obtenir le rapport des variances ou rapport de Fisher-Snedecor (rapport F). Si les deux variances sont égales, la valeur de ce rapport est 1 ; plus F est grand, plus sont importantes les différences interrégionales. En gros, le rapport des variances définit la mesure dans laquelle l'opération de groupement a réussi à maintenir ensemble les États semblables et à maintenir séparés les États dissemblables.

TABLEAU 9.4

UTILISATION DE L'ANALYSE DE VARIANCE POUR LE RATTACHEMENT D'UNE RÉGION¹

	Variance interrégionale (a)	Variance intrarégionale (b)	Rapport des variances $F = a/b$
Rattachement de la Virginie occidentale . .			
— à la Moyenne Côte Atlantique	46,09	8,91	5,17 ²
— au Sud de la Côte Atlantique	71,55	4,66	15,35 ³
— au Centre-Sud-Est	72,13	4,57	15,78 ³

1. Est des États-Unis, 1950.
2. Significatif au seuil de confiance de 95 %.
3. Significatif au seuil de confiance de 99,9 %.

Source : L. ZOBLER, in *Annals of the Association of American Geographers*, 1958, p. 146.

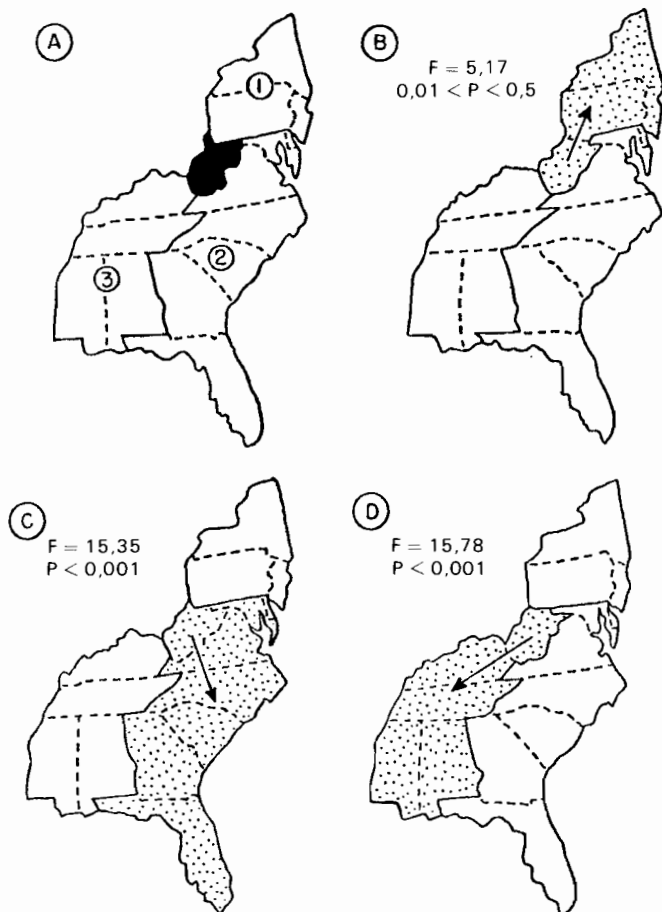


Fig. 9.15 — Rattachement de la Virginie occidentale, tour à tour, à trois groupements régionaux du Sud-Est des États-Unis ($G = 2,6$); rapports des variances correspondants.

Source : ZOBLER, 1958, p. 146.

Les résultats indiqués sur le tableau 9.4 montrent qu'il est sans doute possible de rattacher la Virginie occidentale à l'une quelconque des trois régions, mais que la meilleure solution consiste à l'unir aux États d'Alabama, du Mississippi, du Kentucky et du Tennessee au sein de la circonscription du Centre-Sud-Est (fig. 9.15 D). Inversement, la plus mauvaise classification, d'après cette analyse, consisterait à la mettre avec les États du New Jersey, de New York et de Pennsylvanie dans la circonscription de la Moyenne Côte Atlantique (fig. 9.15 B).

LA CORRÉLATION ET LES « LIENS » RÉGIONAUX

« Corrélation », en général, signifie association entre des données, quantitatives ou qualitatives. La corrélation est mesurée par le coefficient de corrélation, qui varie entre -1 et 1 ; la valeur intermédiaire zéro indique une absence de corrélation, et les deux valeurs extrêmes indiquent une corrélation totale, négative ou positive. Kendall et Buckland (1957, p. 67) définissent un coefficient de corrélation généralisé, Γ , tel que : s'il existe deux ensembles d'observations $\{x_1 \dots x_n\}$ et $\{y_1 \dots y_n\}$, et si une note est attribuée à chaque paire d'individus, soit a_{ij} (pour le groupe x) et b_{ij} (pour le groupe y) :

$$\Gamma = (\sum a_{ij} b_{ij}) / \sqrt{(\sum a_{ij}^2 \sum b_{ij}^2)}$$

Dans cette formule, Σ est une sommation de toutes les valeurs de i et j ($i \neq j$) variant de 1 à n . Ce coefficient général en inclut d'autres, tels que les coefficients *tau* de Kendall, *rho* de Spearman et *r* de Pearson. Des exemples de calcul du coefficient de corrélation et de son application à des problèmes géographiques sont donnés dans le livre de Gregory (1963, pp. 167-184).

Le problème étudié par M. J. Hagood (Hagood, 1943; Hagood et Price, 1952, pp. 541-547) consistait à partager les États-Unis en six à douze groupements d'États contigus; il fallait rendre chaque groupement d'États aussi homogène que possible, compte tenu de quelque 104 variables tirées du recensement démographique et agricole de 1940. Ces variables étaient partagées également en deux groupes principaux, agriculture et population, qui étaient à leur tour divisés en sous-groupes (quinze au total). La taille de ces groupes allait de douze variables (informations sur les cultures) à cinq (informations sur l'appartenance raciale).

M. J. Hagood a utilisé ces variables pour établir le « profil démographique et agricole » de chaque État. Elle a d'abord réduit les 104 variables de façon que la valeur moyenne de chacune d'elles, pour les 48 États, soit égale à 50, et que l'écart-type soit égal à 10. Elle a ensuite calculé les coefficients de corrélation (r) entre les profils d'États limitrophes.

Les coefficients obtenus varient beaucoup, allant de valeurs très fortes correspondant à deux États semblables (par exemple l'Alabama et la Géorgie avaient un coefficient de $+0,92$) à des valeurs très faibles correspondant à deux États dissemblables (par exemple l'Ohio et son voisin méridional, le Kentucky, avaient un coefficient de $0,01$ seulement, ce qui donne à penser que la limite entre le Nord et le Sud reste fortement marquée aux États-Unis). Une partie de la carte de Hagood, comprenant 13 États du Nord des États-Unis, est reproduite sur la figure 9.16; les valeurs du coefficient y sont figurées par des traits d'épaisseur variable, qui font apparaître l'armature des « liens régionaux » entre États; ce schéma met en relief l'existence de liens vigoureux, de direction nord-sud, entre le Montana et le Wyoming, entre les deux Dakota, le Nebraska et le Kansas, et entre le Minnesota et le Wisconsin. En revanche, les liens apparaissent assez faibles dans la direction est-ouest.

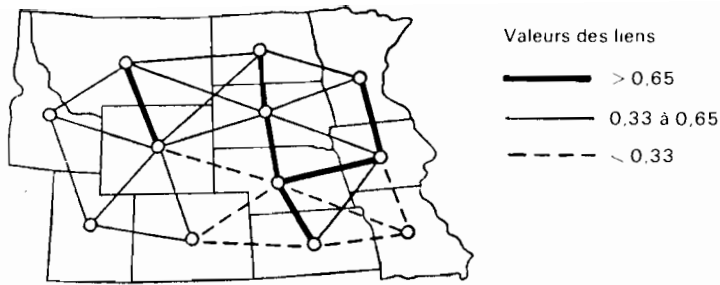


Fig. 9.16 — Schéma des liens, établis par calcul de corrélation, entre États du Centre-Nord des États-Unis ($G = 2,5$).
Sources : HAGOOD et PRICE, 1952, p. 545.

En fait, M. J. Hagood a employé ces calculs de corrélation en supplément à un indice comparatif unique, l'« indice combiné agricole-démographique », qu'elle a calculé par analyse factorielle, à peu près comme Thompson et *al.* (1962) ont déterminé un indice unique de santé économique pour étudier l'État de New York (chap. 8, p. 252). Pour fixer les régions et leurs limites, M. J. Hagood a d'abord identifié, facilement, des noyaux régionaux dont chacun forme le centre d'une région homogène. Une fois ces noyaux bien établis, elle a affecté chacun des États marginaux à l'un d'eux, en se fondant à la fois sur son indice combiné et sur les corrélations entre États voisins.

TABLEAU 9.5

COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ENTRE PROFILS DÉMOGRAPHIQUES ET AGRICOLES ¹

	État type « noyau » (Alabama)	État type « marginal » (Missouri)
Nombre d'États voisins	4	8
Coefficients de corrélation :		
— corrélation maximale	0,92	0,45
— corrélation minimale	0,44	0,08
— corrélation moyenne	0,75	0,29

1. Pour les États limitrophes de l'Alabama et du Missouri, 1950.

Source : M. J. HAGOOD et D. O. PRICE, *Statistics for Sociologists*, 1952, p. 545.

Cette distinction entre États appartenant au « noyau » et États « marginaux » est mise en lumière par le tableau 9.5, d'où il ressort qu'en moyenne l'Alabama ressemble aux États limitrophes presque trois fois plus que le Missouri. L'Alabama

est manifestement situé en plein cœur du Sud et ressemble beaucoup à ses voisins, alors que le Missouri est à la limite de quatre des six grandes régions identifiées par M. J. Hagood. Le Missouri, ayant des liens plus forts avec l'Illinois qu'avec tout autre État voisin, a finalement été rattaché à une « région des Grands Lacs ».

Nous pouvons donc constater que ces liens établis par calcul de corrélation ne résolvent pas les problèmes de régionalisation, en ce sens qu'ils ne créent pas l'homogénéité là où elle n'existe pas. Mais ils aident à prendre une décision dans des cas difficiles, et à rendre claires aux yeux de l'observateur les raisons d'un choix, quelque marginal que puisse être ce choix.

3. LES PROBLÈMES D'ÉCHELLE

La nature du problème de l'échelle

Les difficultés que soulève l'emploi de données correspondant à des unités spatiales de taille différente ont été décrites au chapitre 7 (section 3); nous avons constaté l'existence d'un dilemme fondamental : les généralisations faites à un certain niveau ne sont pas nécessairement valables à un autre niveau, et les conclusions tirées à une certaine échelle peuvent être sans valeur à une autre. Comme l'a affirmé MacCarty : « Tout changement d'échelle amène à poser un problème nouveau, et rien ne permet de présupposer que des liaisons existant à une échelle existent aussi à une autre » (MacCarty et *al.*, 1956, p. 16). Ce problème difficile a également été discuté à fond par Duncan (Duncan et *al.*, 1961, pp. 26 *sq.*).

L'étude de la localisation des industries fait apparaître des exemples concrets de problèmes d'échelle. MacLaughlin et Robock (1949), dans leur étude sur la « migration » des établissements industriels vers le Sud des États-Unis, ont constaté la nécessité de partager en deux groupes les raisons pour lesquelles les entreprises ont choisi telle ou telle localisation : d'une part les raisons du choix du Sud en général (*regional zoning*), d'autre part les raisons du choix d'une localité particulière (*community screening*). Ainsi, le marché potentiel que constitue le Sud, considéré comme un facteur au niveau régional, perd beaucoup de son importance au niveau local, où des facteurs tels que les équipements sociaux (hôpitaux, écoles, etc.) peuvent jouer un rôle plus décisif.

Nous avons étudié (Haggett, 1964) les problèmes d'échelle posés par l'analyse de la localisation d'un type d'utilisation du sol, la forêt résiduelle, à propos de la répartition des terrains boisés dans le Sud-Est du Brésil. Nous avons constaté qu'à l'échelon régional (pour une surface à peu près équivalente à celle de la Virginie occidentale) les deux facteurs dominants étaient la densité de la végétation forestière et le caractère plus ou moins accidenté du relief (tableau 10.7). A l'échelon local (pour une surface d'environ quarante miles carrés) le relief et l'accessibilité étaient les facteurs les plus importants (tableau 10.10). Non seulement les résultats n'étaient pas semblables aux deux niveaux, mais il a fallu employer des types d'analyse différents : les données

disponibles à un niveau ne pouvaient être obtenues à l'autre, et les techniques statistiques applicables à un niveau étaient adéquates à l'autre.

L'échelle dans les hiérarchies régionales

Le fait que les problèmes d'échelle aient depuis longtemps préoccupé les géographes est mis en évidence par le nombre des tentatives qu'ils ont réalisées pour définir les régions par référence à leurs dimensions. En ce qui concerne les régions homogènes (tableau 9.1), le système appliqué autrefois par Fennemann (1916) aux divisions physiographiques des États-Unis, système identifiant de grandes divisions, des provinces et des secteurs, a eu beaucoup d'influence sur d'autres auteurs (tableau 9.6).

TABLEAU 9.6

TERMINOLOGIE ANGLAISE DES HIÉRARCHIES RÉGIONALES ET ÉCHELLES CORRESPONDANTES

Surface approximative (en miles carrés)	Fennemann 1916	Unstead 1933	Linton 1949	Whittlesey 1954	Échelles cartographiques convenant à l'analyse ¹
10 ⁰			<i>Site</i>		
10		<i>Stow</i>	<i>Stow</i>	<i>Locality</i>	1/10 000
10 ²	<i>District</i>		<i>Tract</i>		
		<i>Tract</i>		<i>District</i>	1/50 000
10 ³	<i>Section</i>		<i>Section</i>		
		<i>Sub-région</i>		<i>Province</i>	1/1 000 000
10 ⁴	<i>Province</i>		<i>Province</i>		
		<i>Minor region</i>			
10 ⁵	<i>Major division</i>		<i>Major division</i>	<i>Realm</i>	1/5 000 000
10 ⁶		<i>Major region</i>	<i>Continent</i>		

1. Whittlesey, 1954.

Source : P. HAGGETT, in R. J. CHORLEY et P. HAGGETT, *Frontiers in Geographical Teaching*, 1965.

Unstead (1933), dans un article intéressant sur les « systèmes de régions », a proposé le schéma qui a complété, pour les échelons inférieurs, le système dont Fennemann avait tracé les échelons supérieurs. Linton (1949) a intégré les deux systèmes précédents dans un schéma à sept échelons, qui vont de l'unité la plus petite, le *site*, à la plus grande, le continent. Plus récemment, Whittlesey (*in* James, Jones et Wright, 1954, pp. 47-51) a présenté une hiérarchie des régions avec des indications détaillées sur les échelles cartographiques convenant à leur étude et à leur présentation; il a fait ensuite une étude sur la Rhodésie du Sud à titre d'application (Whittlesey, 1956).

Au cours de la décennie écoulée depuis que Whittlesey a lancé un appel pour « combler cette lacune de la réflexion géographique » (in James et *al.*, 1954, p. 47), on n'a guère travaillé dans ce sens. Parmi les rares articles importants publiés sur cette question, un seul, celui de Bird (1956), a fait subir au schéma de Whittlesey l'épreuve du terrain. De la comparaison, faite à deux échelles par Bird, entre deux presqu'îles d'Europe occidentale, la Bretagne et la Cornouailles, il ressort qu'une étude générale (ou à petite échelle) fait apparaître les deux régions comme semblables, mais qu'une étude minutieuse (ou à grande échelle) montre que les deux presqu'îles diffèrent presque du tout au tout dans le détail. Bien que Bird ait ainsi habilement mis en lumière un problème géographique fondamental, et qui se pose très couramment, cet article est passé presque inaperçu.

Un deuxième grand pas en avant, au cours de la période qui a suivi les articles de Whittlesey, a été fait par Philbrick (1957), qui a publié un schéma très complet fondé sur l'idée d'une hiérarchie de fonctions comprenant sept ordres. Il existe, correspondant à chaque fonction, un point de polarisation, entouré de sa région fonctionnelle. C'est ici que l'échelle est introduite, par l'intermédiaire du concept géométrique d'*emboîtement* : chaque ordre de la hiérarchie s'ajuste dans l'ordre immédiatement supérieur. Philbrick expose le cas théorique dans lequel chaque place centrale d'un ordre donné commande par définition quatre places centrales de l'ordre immédiatement inférieur. Il y a ainsi, dans une région de septième ordre, une suite de 4 centres du sixième ordre, 16 du cinquième ordre, et ainsi de suite jusqu'au niveau terminal : 4 096 centres de premier ordre. Dans son essai d'application de ce schéma à l'Est des États-Unis, où New York et Chicago jouent le rôle de centres du septième et du sixième ordre, Philbrick n'a réussi qu'en partie; mais cette tentative d'introduction d'une composante d'échelle dans un système de régions nodales a joué un rôle pilote.

L'analyse en composantes d'échelle : les méthodes d'échantillonnage

Les géographes n'ont guère essayé d'employer des méthodes quantitatives pour isoler et mesurer les composantes d'échelle. Dans cette section et la suivante, deux façons d'aborder ce problème sont proposées : d'une part l'échantillonnage à plusieurs degrés et l'analyse de variance, d'autre part la cartographie-filtre et une technique qui lui est étroitement liée, la cartographie des surfaces de tendance. Pour exposer ces techniques, nous prendrons l'exemple d'une étude faite par nous (1961-B) sur le Centre du Portugal, et nous nous référerons plus largement à des recherches menées dans d'autres sciences de la terre, notamment en géophysique (Miller et Kahn, 1962, pp. 390-439; Chorley et Haggett, 1965-B).

L'ÉCHANTILLONNAGE À PLUSIEURS DEGRÉS

Une façon d'aborder le problème des variations locales et régionales permet de se passer d'une information complète couvrant toute la surface considérée : c'est la technique de l'échantillonnage à plusieurs degrés (Olson et Potter, 1954; Krumbein, 1956). Elle est particulièrement valable dans les études de reconnaissance, où il est

nécessaire de couvrir une région aussi vaste que possible tout en restant attentif aux variations locales.

Fondamentalement, la méthode d'échantillonnage à plusieurs degrés consiste à diviser l'ensemble territorial étudié en quelques grandes régions de surface égale. Plusieurs de ces grandes régions sont alors choisies au hasard et divisées en un certain nombre de sous-régions. Plusieurs de ces sous-régions sont à leur tour retenues au hasard et divisées; on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait atteint la plus petite unité significative, ou jusqu'à ce qu'on cesse d'avoir des données. La figure 9.17 illustre ce processus : un rectangle de 150 × 100 kilomètres est divisé en six « unités régionales » carrées dont chacune mesure 50 kilomètres de côté; puis chacun de ces carrés est subdivisé quatre fois, jusqu'au niveau des plus petites unités, qui sont des carrés de 3,125 kilomètres de côté (tableau 9.7). En prélevant au hasard, à chaque niveau du

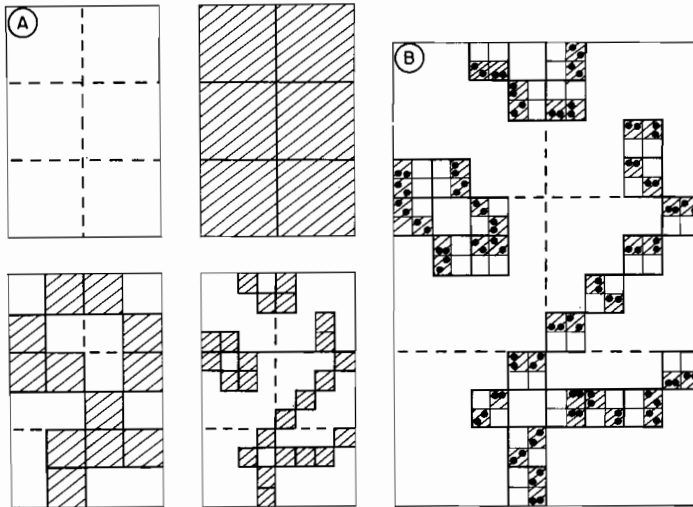


Fig. 9.17 — Étapes de l'élaboration d'un plan de sondage à quatre degrés préparé pour une étude sur le bassin du Tage et du Sado, dans le Centre du Portugal ($G = 4,5$).

Source : HAGGETT, 1961 - B, p. 7.

processus de division, deux carrés seulement parmi les quatre disponibles, on ne tire pour les étudier que 96 de ces petites unités, sur un total possible de plus de 1 500 unités existant dans la surface primitive : la fraction de sondage est de $1/16$. La localisation des unités tirées est représentée par des points noirs sur la figure 9.17 B. Un sondage ainsi fait garantit non seulement que toutes les parties de la région sont représentées, mais que le temps passé sur le terrain à visiter chaque point est nettement inférieur à celui que nécessiterait un sondage aléatoire à un degré au même taux de $1/16$.

TABLEAU 9.7

PLAN DE SONDAGE A PLUSIEURS DEGRÉS POUR UNE ANALYSE
EN COMPOSANTES D'ÉCHELLE¹

	Région I	Sous- région II	District III	Sous- district IV	Localité V
Surface (en km ²)	2 500	625	156	39	10
Nombre total de cases	6	24	96	384	1 536
Nombre de cases tirées au hasard	6	12	24	48	96
Taux de sondage	1	0,5	0,25	0,125	0,0625

1. Bassin du Tage et du Sado au Portugal.

Source : P. HAGGETT, *Multilevel Variance Analysis of Sobreiro Distribution in the Tagus-Sado Basin* (inédit), 1961, pp. 9, 11.

L'ANALYSE DE VARIANCE DES RÉSULTATS

C'est principalement au stade de l'analyse que l'on a intérêt à collecter des données dans un cadre défini par le processus exposé ci-dessus. Toute valeur « locale » X peut alors être considérée comme résultant de la somme de la valeur moyenne et des déviations indépendantes observables à chaque niveau du processus de division : $X =$ valeur moyenne de l'ensemble étudié (150×100 km)

- + déviation de la région (50×50 km) par rapport à la valeur moyenne de l'ensemble
- + déviation de la sous-région (25×25 km) par rapport à la moyenne de la région
- + déviation du district ($12,5 \times 12,5$ km) par rapport à la moyenne de la sous-région
- + déviation du sous-district ($6,25 \times 6,25$ km) par rapport à la moyenne du district
- + déviation de la localité ($3,125 \times 3,125$ km) par rapport à la moyenne du sous-district.

On suppose que toute observation isolée faite en un point de la surface de la terre peut être considérée comme affectée d'une déviation par rapport à la valeur moyenne du district dans lequel est situé ce point; on suppose de plus que cette moyenne du district peut être considérée comme affectée d'une déviation par rapport à la moyenne de la région dans laquelle est situé ce district. On peut continuer ainsi, en considérant chaque valeur comme affectée d'une déviation par rapport au niveau immédiatement supérieur.

Krumbein et Slack (1956) ont fait sur le Sud-Ouest de l'Illinois une étude géologique qui éclaire ce point. Ils ont établi une hiérarchie à cinq échelons : l'échelon des régions du Sud-Ouest de l'Illinois où affleure la houille (soit une surface de 150×25 miles environ), celui du groupe de *townships* (18×18 miles), celui du *township* (6×6 miles),

celui de la mine et celui de l'unité de sondage. La figure 9.18 représente ces cinq échelons, rangés par ordre de taille croissante le long de l'axe des y du graphique; la valeur correspondante de la caractéristique étudiée est portée sur l'axe des x . La

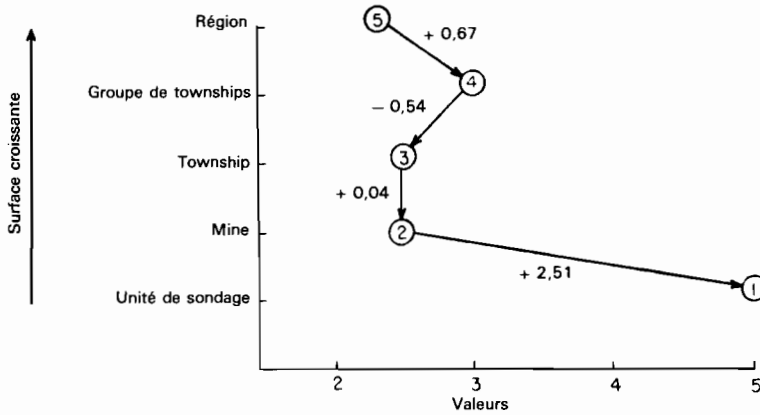


Fig. 9.18 — Représentation graphique d'une analyse de variance.

Source : KRUMBEIN et SLACK, 1956, p. 757.

valeur obtenue pour l'unité de sondage (1) peut être considérée soit comme une valeur isolée de 5,10, soit comme affectée d'une déviation de +2,51 par rapport à la mine d'où elle est tirée et dont la valeur moyenne est 2,59 (2). Cette valeur obtenue pour la mine peut aussi être considérée comme affectée d'une déviation de +0,04 par rapport au *township* (3) dans lequel la mine est située et dont la valeur moyenne est de 2,55. Toutes les valeurs portées sur ce graphique peuvent être considérées comme affectées de déviations par rapport à la moyenne régionale (5) du Sud-Ouest de l'Illinois, qui est égale à 2,42.

Il est évidemment possible de remplacer le graphique par l'expression :

$$5,10 = 2,42 + 0,67 + (-0,54) + 0,04 + 2,51$$

L'intérêt de ce type d'analyse réside en ce qu'il permet de séparer l'une de l'autre les déviations correspondant à chaque échelon de la hiérarchie régionale, et, de plus, de mesurer leur valeur. La figure 9.19 représente les résultats d'une analyse de la structure de variabilité présentée par la répartition des forêts dans le Centre du Portugal, analyse faite par Haggett à l'aide de cette technique; le plan initial est représenté sur la figure 6.1 A. Le graphique indique le grand contraste existant entre l'augmentation de variabilité qui apparaît au troisième échelon, celui du district, et l'effet négligeable de l'échelon immédiatement supérieur. Dans cet exemple, l'analyse de variance était faite sur la base du plan de sondage à plusieurs degrés représenté par la figure 9.17, et les échelons de la hiérarchie régionale identifiés (I, II, ..., V) sont ceux qu'indique le tableau 9.7 : le premier échelon (I) correspond à une surface de 2 500 km², tandis que le cinquième échelon (V) correspond à une surface de 10 km² seulement.

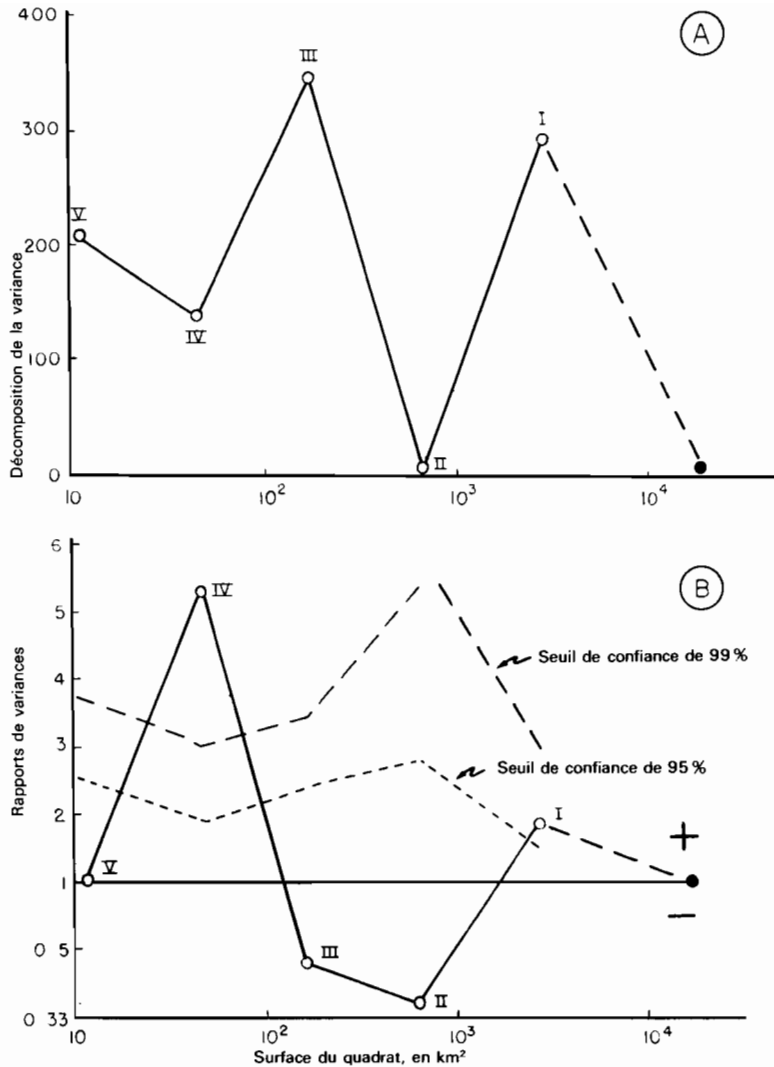


Fig. 9.19 — A. Composantes d'échelle de la répartition des forêts dans le bassin du Tage et du Sado. — B. Influence des affleurements du Mio-Pliocène sur cette distribution, à chacune des 5 échelles.

Source : HAGGETT, 1961-B.

La première courbe (fig. 9.19 A) fait apparaître les grands contrastes de variabilité entre les cinq échelons : les plus grandes différences s'observent aux premier, troisième et cinquième échelons. L'examen des courbes suggère que la variabilité peut être en rapport avec une série de facteurs agissant à des échelles différentes; la faiblesse des gradients climatiques, dans l'aire étudiée, s'oppose par exemple à la brusquerie

des variations des conditions hydro-pédologiques à l'écart des plaines alluviales d'inondation. L'action d'un de ces facteurs est étudiée sur la figure 9.19 B, où la courbe représente les rapports de variance ou rapports F (Davies, 1958, p. 66) qui expriment les différences entre carrés échantillons situés sur des affleurements du Mio-Pliocène ou en dehors d'eux; le graphique indique que l'influence de ce facteur est significative au seuil de 99 % au quatrième échelon, au seuil de 95 % au premier échelon, et non significative aux autres échelons.

L'application de l'analyse de variance à des hiérarchies régionales a été étendue avec succès à des problèmes de géographie physique (Chorley, Stoddart, Haggett et Slaymaker) : des périodicités « cachées » existant dans des couches de sable, d'une longueur d'onde de 200 mètres, ont été décrites par la méthode statistique, avant d'être identifiées sur des photographies aériennes obliques et sur le terrain.

L'analyse en composantes d'échelle : les méthodes cartographiques

Les méthodes cartographiques n'ont été que récemment utilisées pour séparer les composantes d'échelle supérieure (échelle régionale) des composantes d'échelle inférieure (échelle locale). Bien qu'il tire son origine de la prospection géophysique et de la prévision météorologique, ce type de cartographie, la cartographie des surfaces de tendance, présente, quand on l'introduit dans l'analyse géographique, de grandes possibilités que Chorley et Haggett (1965-B) ont étudiées en détail et sur lesquelles nous ne nous étendrons pas ici. Nous allons simplement exposer trois méthodes de complexité croissante — la méthode des cartes-filtres, la méthode des plans de tendance et la méthode des surfaces de tendance d'ordre plus élevé — et discuter le problème du choix entre ces méthodes.

LE FILTRAGE CARTOGRAPHIQUE

Les idées sur lesquelles repose la construction de cartes-filtres peuvent être saisies à partir d'un exemple assez simple. La figure 6.1 montre les étapes de l'analyse en composantes régionales et locales d'une distribution donnée, qui est ici la répartition réelle des forêts dans un secteur du Centre du Portugal (fig. 6.1 A). Pour son étude statistique, cette répartition peut être exprimée sous deux formes : le rapport surface boisée/surface non boisée, soit 0,352, ou le pourcentage surface boisée/surface totale, soit 26,3 %. En posant sur l'aire étudiée une grille rectangulaire, on peut calculer les valeurs de ces rapports pour de petites surfaces (ici, des cases carrées de 40 km²) et tracer des isarithmes. La carte obtenue (fig. 6.1 B, p. 174) décrit complètement l'aire étudiée, sous une forme bidimensionnelle. Comme une carte en courbes de niveau représentant le relief, elle pourrait être transformée en une maquette à trois dimensions; mais on peut de toute manière la concevoir comme une surface de tendance à trois dimensions.

La surface de la figure 6.1 B peut être considérée, statistiquement parlant, comme une *surface de réaction* (Box, 1954); autrement dit, la hauteur (correspondant à la proportion de couvert forestier) en un point quelconque peut être considérée comme une réponse à l'action du complexe formé par « la géologie, la topographie, les particularités du climat, les données écologiques, les disparités économiques et l'histoire locale et régionale » (Köstler, 1956, p. 82), qui, ensemble, déterminent la distribution de la forêt. Les variations de la forme de la surface peuvent être considérées comme des réactions aux variations spatiales de la puissance et de l'équilibre de ces facteurs hypothétiques.

Il est permis de concevoir ces facteurs comme divisés en deux groupes, régional et local. Les facteurs *régionaux* pourraient inclure des données telles que les périodes végétatives, dont les variations tendent à être systématiques et lentes à travers l'aire étudiée; on peut considérer que de tels facteurs régionaux donnent naissance aux tendances générales qui se manifestent à grande échelle dans la surface de réaction. Les facteurs *locaux* pourraient inclure des données telles que la composition des sols, dont les variations sont relativement rapides dans l'espace; ces facteurs suscitent des variations de la surface de réaction dont la distribution est désordonnée, ponctuelle.

La figure 6.1 C présente une carte de *tendance régionale* de l'aire étudiée. Pour la construire, nous avons simplement tracé autour de chaque case de la grille un cercle de rayon égal à 28,20 kilomètres, donc de surface égale à 2 500 km², et calculé la proportion de terrains boisés à l'intérieur de cette unité circulaire. Sur la « surface 2 500 » obtenue, les détails locaux sont perdus, mais les traits généraux de la répartition apparaissent clairement. Nettleton (1954, p. 10) a comparé l'effet de cette technique cartographique à celui d'un « filtre électrique qui laisse passer les courants de certaines fréquences et retient les autres ». Les détails sont perdus, mais d'une façon prévisible et contrôlable, et les comparaisons avec d'autres cartes faites d'après une « grille » semblable sont plus sûres.

Un calcul rapide permet de filtrer les anomalies locales. Pour chaque case carrée de 40 km², on soustrait la valeur régionale (fig. 6.1 C) de la valeur locale (fig. 6.1 B). A partir des résultats, on trace des isarithmes et on représente en grisé les valeurs positives (c'est-à-dire les endroits où les valeurs locales sont supérieures aux valeurs régionales) et on laisse en blanc les valeurs négatives (c'est-à-dire les endroits où les valeurs régionales sont supérieures aux valeurs locales). D'où la figure 6.1 D, qui représente l'action des facteurs locaux sous la forme d'une répartition de résidus positifs et négatifs.

Il est évidemment possible de construire un nombre infini de cartes représentant des surfaces de tendance; la nature des cartes obtenues varie selon la taille choisie pour les mailles de la grille. Ainsi, la carte de tendance est une expression quantitative d'un choix qualitatif. Mais on peut supprimer cet inconvénient, en annexant à la carte la définition de la grille génératrice (de même que l'échelle et l'orientation sont traditionnellement indiquées sur une carte), et en normalisant la construction de telles cartes par l'emploi de multiples de dimensions conventionnelles; l'unité de 100 km² semble être une base intéressante, tant en ce qui concerne son regroupement en multiples que sa division en unités plus petites.

LES PLANS DE TENDANCE

Le problème de l'ajustement de plans à des systèmes de points répartis dans l'espace a longtemps piqué la curiosité des mathématiciens (par exemple Pearson, 1901). Robinson et Caroe (in Garrison, 1967, pp. 252-276) ont élaboré une technique qui permet de construire, pour une carte, une surface de meilleur ajustement qui est un plan incliné et qui donne une idée générale de l'orientation et de l'inclinaison d'une distribution. Ce plan de meilleur ajustement est simplement une extension logique à un espace à trois dimensions de la droite de régression, bien connue, dont il sera question au chapitre 10 (pp. 327-333). On calcule, pour un ensemble de points directeurs régulièrement répartis sur une carte et à chacun desquels une valeur est affectée, deux droites de régression dont les orientations géographiques sont perpendiculaires. Ces deux droites définissent un plan, dont l'inclinaison et l'orientation peuvent être calculées comme sur une carte géologique. Habituellement, on calcule les droites de régression en disposant les points d'abord dans une direction nord-sud, puis dans une direction est-ouest.

Nous avons employé (Haggett, 1964) un plan de tendance pour séparer les composantes régionales et locales de la distribution des forêts dans le Sud-Est du Brésil.

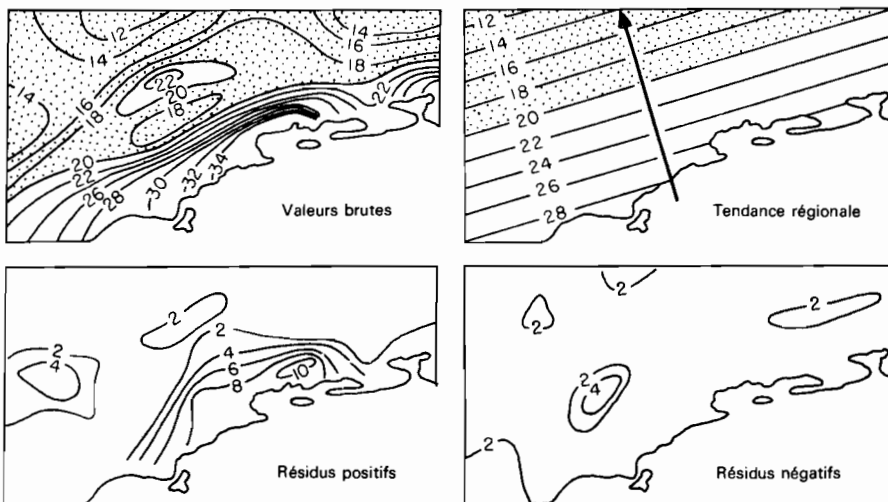


Fig. 9.20 — Distribution des forêts dans le Sud-Est du Brésil ($G = 3,9$) : proportion observée; tendance régionale; anomalies locales.

Source : HAGGETT, 1964, p. 372.

La distribution observée est représentée, sur la figure 9.20 A, par des isarithmes (à intervalles de 10 unités); les surfaces où la proportion de forêts est inférieure à la valeur moyenne de l'ensemble de la région sont en grisé. La tendance générale présentée par cette distribution des forêts est indiquée par le plan d'ajustement (fig. 9.20 B) qui s'abaisse vers l'intérieur des terres, plongeant perpendiculairement à la direction

de la côte. Les surfaces où la proportion de forêts est supérieure à celle indiquée par le plan, ou anomalies positives (fig. 9.20 C), comprennent les parties extrêmement boisées de l'escarpement de la Serra do Mar et de la Serra da Mantiqueira. Les surfaces « déprimées » (fig. 9.20 D) de la répartition se trouvent dans le bassin peu arrosé de Taubaté et dans la partie nord-ouest de la carte.

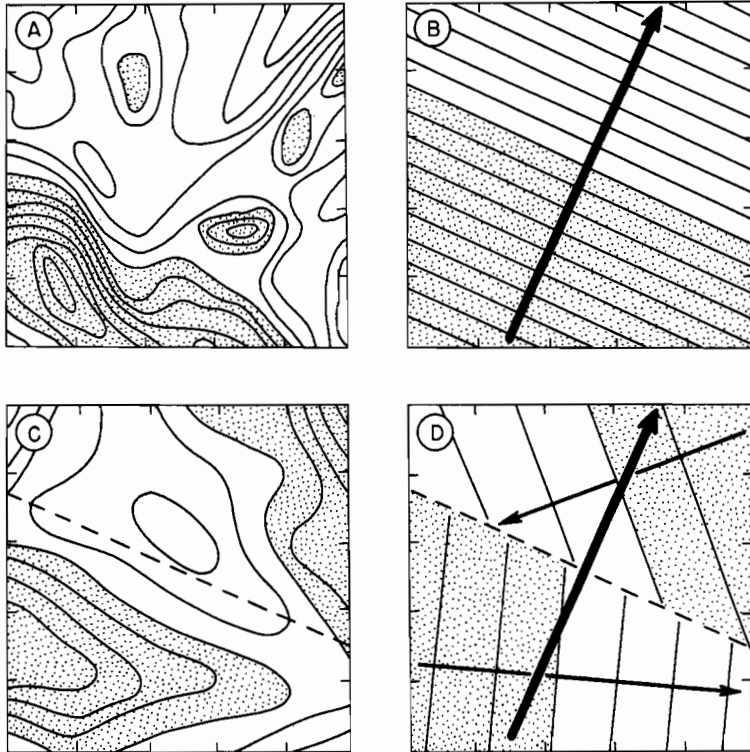


Fig. 9.21 — Calcul de plans de meilleur ajustement successifs, à partir d'une carte en isarithmes représentant la répartition de forêts dans un carré échantillon du bassin du Tage et du Sado (Centre du Portugal) ($G = 4,7$) :
 A. Répartition observable, représentée par des isarithmes. — B. Plan de meilleur ajustement. — C. Résidus, par rapport à la surface B. — D. Plans de meilleur ajustement correspondant aux aires d'anomalie positive et négative.

La réduction de cartes en isarithmes à des plans de tendance permet de comparer rapidement des répartitions géographiques exprimées chacune par une inclinaison et une orientation. En ce qui concerne la répartition représentée par la figure 6.1, l'application de plans successifs est un moyen de donner une description plus complète de ses structures. A partir de la carte en isarithmes qui représente le pourcentage de

la surface qui est couverte par un type de forêt (fig. 6.1 B et fig. 9.21 A), le plan de meilleur ajustement (fig. 9.21 B) et la surface de résidus (fig. 9.21 C) sont calculés comme ci-dessus. Puis deux plans distincts sont ajustés aux résidus, d'une part à ceux qui correspondent à la partie positive du premier plan, d'autre part à ceux qui correspondent à sa partie négative; ces deux ensembles de résidus sont séparés par la ligne en tireté de la figure 9.21 C, et les deux plans obtenus sont représentés sur la figure 9.21 D. On peut continuer ainsi à ajuster des plans à des parties de plus en plus petites de la carte, jusqu'à ce que les points directeurs deviennent trop peu nombreux pour constituer une base acceptable de calcul d'une tendance. A chaque étape du processus, le nombre de plans est doublé.

Cette analyse a été faite à titre d'expérience, mais il semble évident que la méthode employée est susceptible d'applications plus larges. Elle fournit un moyen simple de décrire une carte en isarithmes complexe, comme celle de la figure 9.21 A, en la ramenant à une série de vecteurs, comme sur la figure 9.21 D. Chaque vecteur ayant un azimuth particulier (compris entre 0 et 360 degrés) et une inclinaison particulière (comprise entre 0 et 90 degrés), la comparaison de répartitions, qui est habituellement une affaire difficile et incertaine, est rendue beaucoup plus facile.

LES SURFACES QUADRATIQUES ET D'ORDRE SUPÉRIEUR

Le plan constitue seulement la première d'une série de surfaces ajustables à une distribution statistique donnée : on peut, de même qu'on est passé de la droite de régression linéaire au plan, passer de la courbe curviligne de régression à la surface curviligne (fig. 9.22). L'introduction de nouveaux termes permet de construire une série de surfaces polynomiales : la surface quadratique, la surface d'ordre 3, la surface d'ordre 4, etc.

En pratique, on emploie rarement des surfaces d'ordre supérieur à trois. Il en est ainsi en partie parce que la masse des calculs nécessaires devient trop considérable, même avec un ordinateur, quand on applique des surfaces d'ordre élevé à un grand nombre de données. Autre raison : à mesure que s'élève l'ordre de la surface, celle-ci se rapproche rapidement des complexités de la surface de répartition observée.

Ce dernier fait est représenté graphiquement sur la figure 9.23, qui reproduit en partie une série de surfaces d'ajustement que Krumbein (1959-B) a calculées, à l'aide d'un ordinateur IBM 650, à partir de données géologiques sur la région de Wichita (Kansas). Les valeurs observées sont représentées sur la figure 9.23 A, le plan d'ajustement sur la figure 9.23 B et la surface quadratique d'ajustement sur la figure 9.23 C. Il est clair que la surface polynomiale est beaucoup plus proche que le plan de la surface initiale; mais le rapprochement progresse de moins en moins vite, quand on calcule des surfaces d'ajustement d'ordre de plus en plus élevé. Étant donné la variance des valeurs représentées par la surface initiale, on peut calculer que 78,2 % de cette variance sont expliqués par la surface linéaire. L'introduction de la surface quadratique élève le niveau d'explication à 85,1 %, c'est-à-dire d'un dixième seulement.

Une raison décisive de la popularité des surfaces d'ordre élevé est liée à la finalité

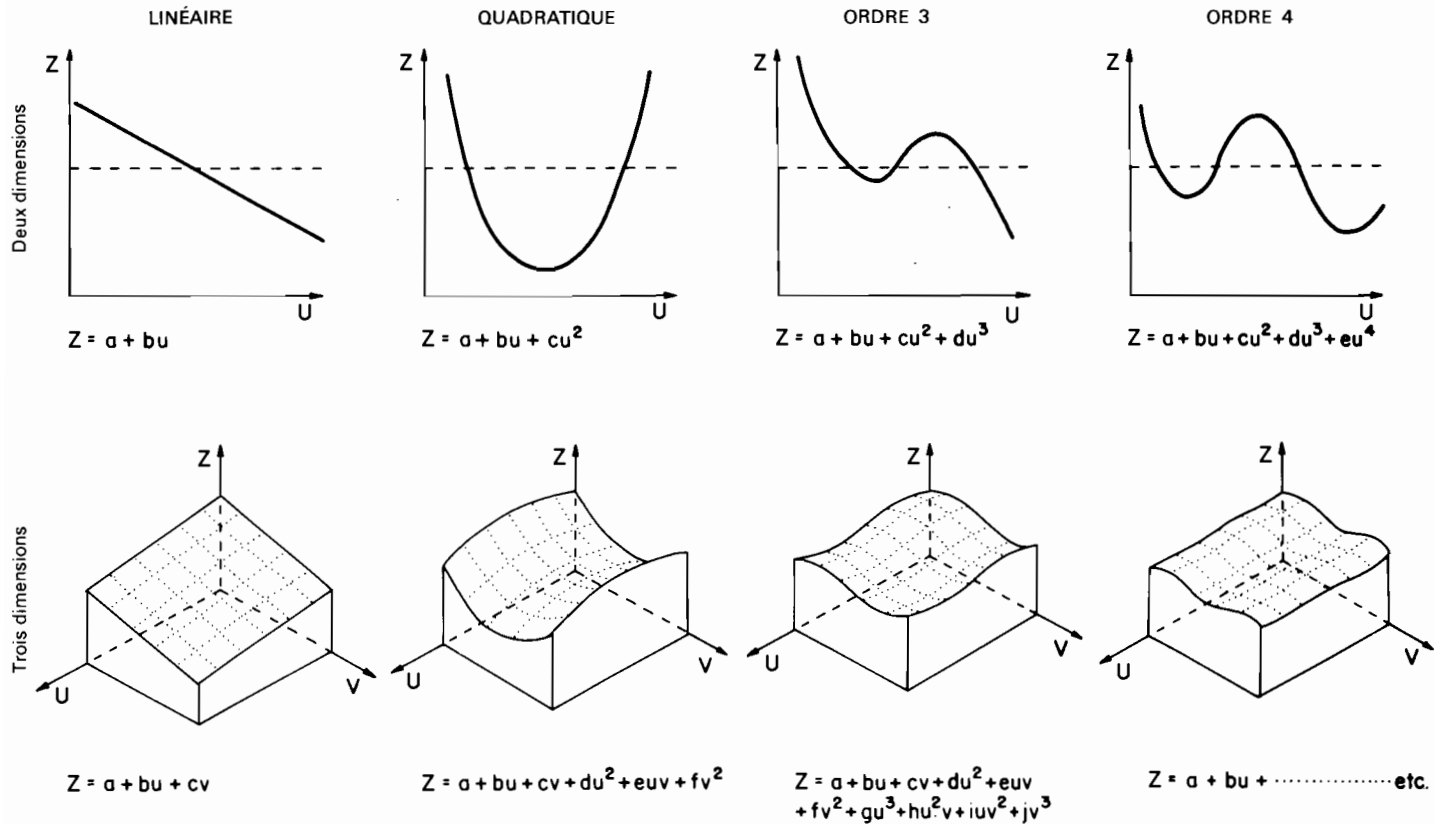


Fig. 9.22 — Correspondance entre courbes à deux dimensions et surfaces à trois dimensions.
Sources : CHORLEY et HAGGETT, 1965-B; KRUMBEIN, 1956.

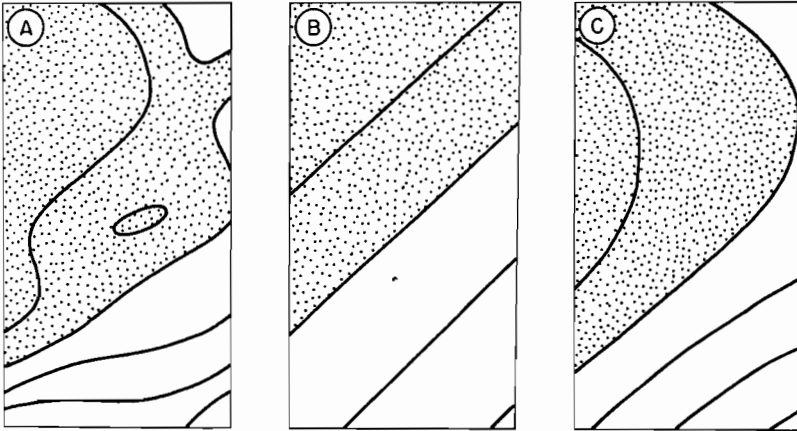


Fig. 9.23 — Comparaison entre une surface représentant une répartition réelle (A) et un plan ou surface d'ordre 1 (B) et une surface quadratique d'ordre 2 (C).
Source : KRUMBEIN, 1959-B, pp. 828-831.

des études dans lesquelles on les emploie. Ces surfaces servent parfois à « reconstruire » des répartitions à partir de données fragmentaires (cas des « stratigraphies-fantômes » de Whitten (1959)), mais, plus souvent, à dégager les tendances régionales et à étudier les déviations par rapport à ces tendances. Selon Krumbein (1956, p. 2193), les résidus calculés à partir de surfaces linéaires, qui font ressortir les formes locales, peuvent présenter plus d'intérêt que la carte initiale ou qu'une carte représentant une surface de tendance d'ordre supérieur.

LE CHOIX D'UNE MÉTHODE

A travers l'exemple du bassin du Tage et du Sado (fig. 6.1 et 9.21), nous avons vu comment s'applique une méthode utilisant des surfaces de tendance, le filtrage cartographique, qui fait intervenir l'influence des points voisins. Mais cette méthode n'apporte pas de solution unique au problème de la définition des tendances régionales; d'autres méthodes emploient des surfaces de régression, linéaires ou d'ordre supérieur. Nettleton (1954), Chorley et Haggett (1965-B) et Krumbein (1956) ont exposé en détail ces méthodes et d'autres qu'il n'est pas question de résumer ici; nous allons seulement donner quelques exemples.

Pour comparer les diverses méthodes utilisant des surfaces de tendance, Krumbein (1956, pp. 2167-2177) les a appliquées à des données concernant la région du West Brock, dans l'Oklahoma. Les valeurs observées sont représentées sur la figure 9.24 A par des isarithmes séparées par des intervalles de 10 unités; les surfaces où les valeurs sont supérieures à 40 unités sont en grisé. Les mêmes conventions sont appliquées aux cartes de tendance régionale (fig. 9.24 B, D, F). Sur les cartes de résidus (fig. 9.24 C, E, G), les intervalles entre isarithmes sont aussi de 10 unités, mais les surfaces en grisé représentent les résidus positifs.

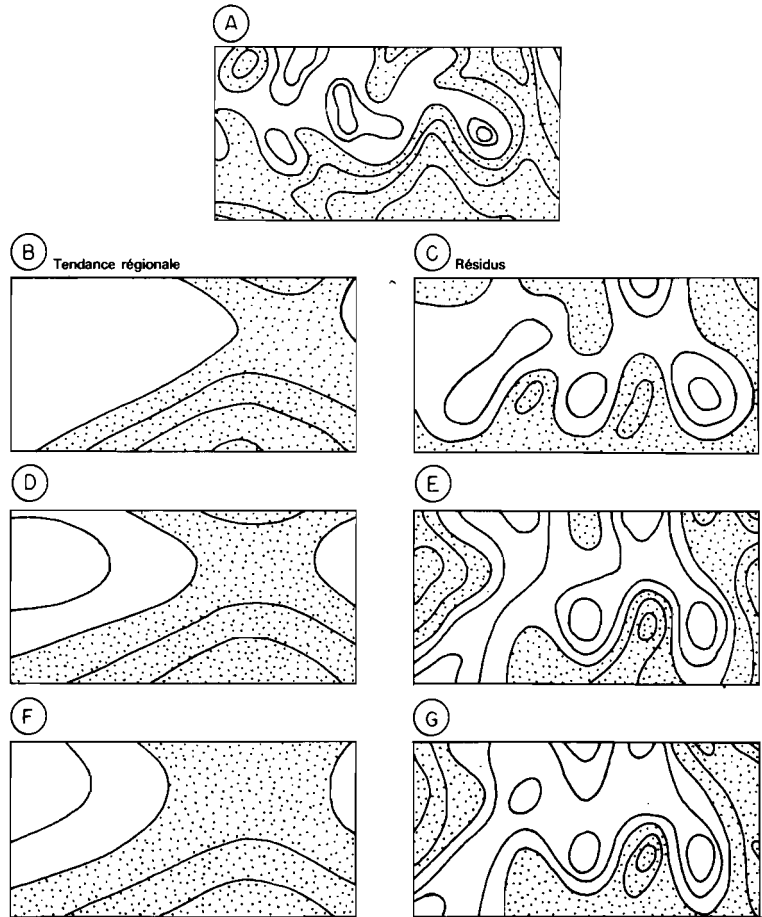


Fig. 9.24 — Comparaison des cartes de tendance régionale et de résidus faites à partir de la distribution A par la méthode des profils (B, C), par la méthode de régression (D, E) et par la méthode des valeurs théoriques (F, G).

Source : KRUMBEIN, 1956, pp. 2170-2176.

Krumbein a employé trois méthodes pour déterminer la tendance régionale : la méthode des profils graphiques, la méthode de régression (ou analytique) et la méthode des valeurs théoriques. La première consiste à utiliser une série de profils tracés le long des lignes d'un quadrillage; Krumbein a tracé quatre profils est-ouest et sept profils nord-sud; puis il a fait un lissage approximatif en essayant de s'en tenir à un nombre minimal de points d'inflexion pour tracer les courbes lissées. Les principes de la méthode de régression ont déjà été exposés, à propos de l'application de surfaces linéaires ou d'ordre supérieur à des distributions; la surface de tendance régionale représentée sur la figure 9.24 D est une combinaison des termes linéaire, quadratique et cubique.

Enfin, la méthode des valeurs théoriques consiste à disposer en lignes et colonnes les valeurs relevées sur un quadrillage appliqué à la distribution, puis à calculer leur somme et leur moyenne pour chaque ligne (de l'est à l'ouest) et pour chaque colonne (du nord au sud); la valeur théorique d'une case quelconque du quadrillage est obtenue en faisant la somme des moyennes de la ligne et de la colonne auxquelles appartient cette case, et en soustrayant de cette somme la moyenne globale de toutes les valeurs du quadrillage.

De la comparaison des trois cartes de tendance régionale obtenues, il ressort que les trois méthodes conduisent à des résultats graphiques, et par conséquent à des interprétations, à peu près semblables. S'il est possible d'employer des tests objectifs pour choisir la meilleure méthode, il n'en est pas moins vrai que la sûreté des résultats obtenus est à peu près proportionnelle à la somme de travail dépensée dans les calculs. Quand on a besoin de cartes détaillées permettant de faire des comparaisons très précises entre différentes régions, il est recommandé de calculer la régression à l'aide d'un ordinateur; mais lorsque la répartition étudiée est relativement simple, la méthode graphique, plus rapide, donne des résultats assez proches de ceux de la méthode analytique, plus minutieuse.

LA VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES

Construire, vérifier et reconstruire des hypothèses, c'est par ce lent cheminement qu'a progressé la géographie humaine. Vérifier, notamment tester d'un point de vue probabiliste, permet de refréner les excès théoriques de la première partie de ce livre et d'ouvrir la voie à de nouvelles idées. A vrai dire, ce qu'on peut espérer de mieux d'une théorie, c'est qu'elle conduise à une théorie meilleure. Le cycle de la recherche, comme le cycle de l'azote, exige la mort de vieilles hypothèses et l'élaboration de nouvelles; au moment où ce livre sera publié, ce qu'il propose sera déjà, inévitablement, en partie caduc : l'effondrement des hypothèses est la marque du progrès. La vérification a une importance particulière en géographie en ce sens que *l'un des rôles essentiels de cette discipline, par rapport aux autres sciences sociales, est de soumettre les théories « générales » à des tests « régionaux ».*

Ce chapitre donne un aperçu de quelques règles simples de vérification. Abordant les méthodes statistiques en peu de pages, il paraîtra trop difficile aux uns, outrageusement simplifié aux autres. Le livre de Gregory (1963) fournit aux premiers une introduction plus progressive; les seconds trouveront dans celui de Miller et Kahn (1962) la plupart des applications de la statistique propres à l'analyse de localisation.

1. LES HYPOTHÈSES EN GÉOGRAPHIE HUMAINE

Après l'échec de l'enchaînement causal lieu-travail-société de Vidal de la Blache (chap. 1, section 2) et des hypothèses d'orientation vers les sources d'approvisionnement de Weber (chap. 5, section 4), les géographes se sont prudemment consacrés à collecter des faits; pendant un demi-siècle, ils ont accumulé des données plutôt que créé des modèles pour rechercher leur signification. L'une des plus tristes conséquences de l'abandon du déterminisme géographique a été le recul devant les risques que comporte le lancement d'hypothèses nouvelles.

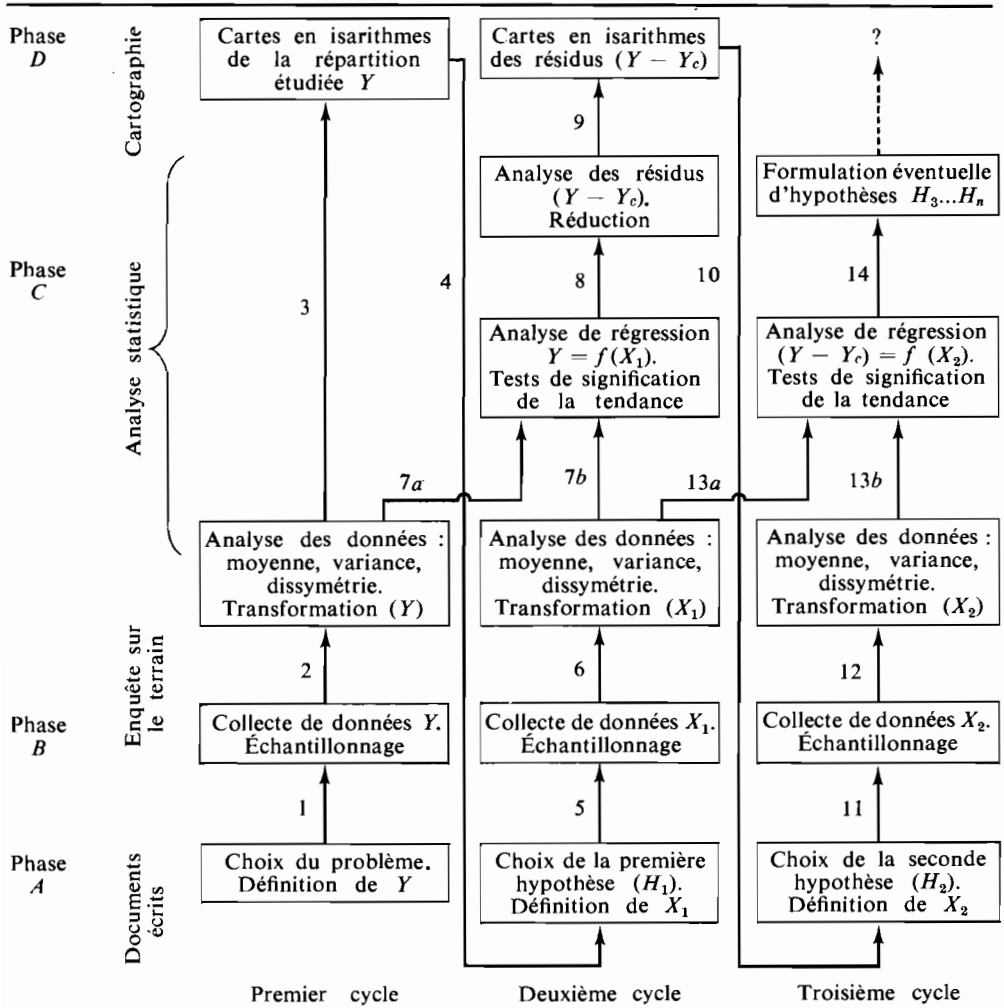
La collecte des faits ne peut, d'elle-même, conduire à leur intelligence : Karl Popper (1959, pp. 276-281) nous met en garde : une telle façon de procéder va à contre-courant de la démarche classique de la science, qui donne la première place à la formulation de théories. La phrase de Novalis citée en tête de l'ouvrage de Popper : « Les théories sont des filets : qui les lance pêchera », exprime le rôle central attribué par Popper à la théorie, qui représente à ses yeux la connaissance organisée, alors que les faits seraient la connaissance inorganisée. Comme nous l'avons vu au chapitre premier, il n'est pas possible de prouver qu'une théorie est vraie ou fautive en soi; mais il est possible de la mettre à l'épreuve rigoureuse des faits connus, à l'aide de techniques expérimentales bien définies.

Les modèles de vérification d'hypothèses

L'un des plus simples parmi les modèles de vérification d'hypothèses en géographie humaine a été proposé par MacCarty (1956, p. 263); cet auteur plaide pour l'adoption dans la recherche géographique d'une démarche *séquentielle* : définition des problèmes, puis application d'hypothèses, puis évaluation de leur efficacité, enfin énoncé de nouvelles hypothèses propres à expliquer les discordances. Plus précisément, on peut formuler la démarche préconisée par MacCarty comme une série de cycles de régression tels que ceux que présente le tableau 10.1. Au cours du *premier cycle* (C_1), le problème est défini, les données collectées, puis soumises à une analyse statistique, enfin transformées en cartes en isarithmes de la répartition étudiée (Y). L'analyse de la carte de la répartition Y conduit à la formulation d'une hypothèse, qui est destinée à rendre compte des irrégularités géographiques observables sur la carte, et qui amorce le *deuxième cycle* (C_2) par la définition d'une variable explicative X_1 . Des données relatives à X_1 sont collectées, puis soumises à une analyse statistique, et mises en rapport avec la répartition Y par une analyse de régression : à l'aide de l'équation de régression $Y = f(X_1)$, les déviations de la distribution réelle Y par rapport à la distribution théorique peuvent être mesurées. La carte de ces déviations ou *résidus* marque la fin du deuxième cycle. L'analyse de la carte de résidus peut conduire à une seconde hypothèse destinée à prendre en compte ce qui reste inexpliqué de la répartition Y . Ainsi s'amorce le *troisième cycle* (C_3), qui commence par la définition de la variable explicative X_2 . Comme le montre le tableau 10.1, ce troisième cycle est semblable au deuxième et peut être prolongé par d'autres cycles (C_4 à C_n) jusqu'à ce qu'un seuil d'explication satisfaisant soit atteint.

TABLEAU 10.1

MODÈLE DES CYCLES DE RÉGRESSION
DANS LA RECHERCHE GÉOGRAPHIQUE



Thomas (1960) s'est inspiré d'une étude peu banale de MacCarty, restée inédite, pour illustrer cette méthode. Dans cet article, intitulé « MacCarty on MacCarthy », MacCarty essaie d'expliquer la répartition (Y) des votes en faveur du sénateur Joseph MacCarthy dans l'État de Wisconsin. Les données indiquent le pourcentage de voix obtenu par le sénateur dans chaque secteur électoral de l'État. MacCarty examine

d'abord l'hypothèse (H_1) selon laquelle MacCarthy a été élu principalement grâce aux voix des agriculteurs. La variable indépendante X_1 est le pourcentage de population rurale de chaque secteur électoral. De l'analyse de régression $Y = f(X_1)$, il ressort qu'environ un tiers de la variation totale du pourcentage de votes en faveur de MacCarthy peut être attribué à ce facteur. La carte de résidus résultant de l'opération $Y - Y_c$ présente deux aires de fortes valeurs positives, situées l'une dans le Nord, l'autre dans le Centre-Est de l'État (fig. 10.1 A). Dans ces deux aires, la prédiction fondée sur l'hypothèse H_1 a donc considérablement sous-estimé l'importance véritable des votes favorables à MacCarthy. De cette carte, MacCarty tire l'idée qu'un autre

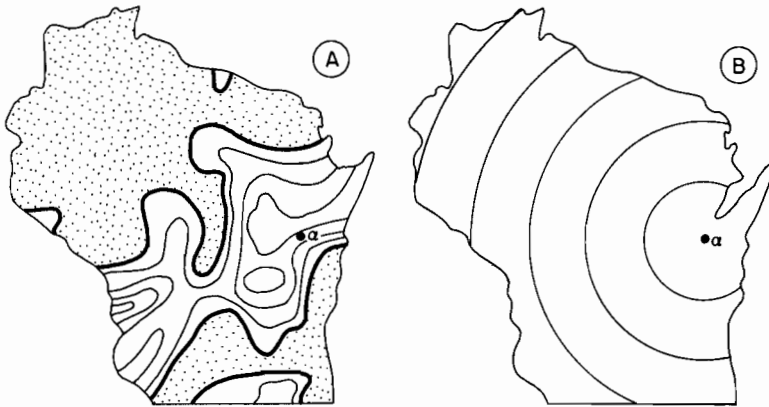


Fig. 10.1 — A. Résidus positifs obtenus par analyse de régression, à partir de la répartition des votes en faveur de MacCarthy dans le Wisconsin ($G = 3,5$). — B. Deuxième hypothèse : distance par rapport à α , domicile de MacCarthy.
Source : THOMAS, 1960, p. 45.

facteur est susceptible d'expliquer en partie la distribution des votes : la localisation du domicile du sénateur à Appleton (α sur la figure 10.1). D'où l'hypothèse H_2 , selon laquelle le pourcentage de voix en faveur de MacCarthy a augmenté avec la proximité de cette ville. L'introduction de ce deuxième facteur X_2 dans l'analyse fait monter le niveau d'explication d'un tiers à près d'un demi.

Le raisonnement de MacCarty suit l'une des méthodes classiques de la logique. Dans son livre *A System of Logic*, J. S. Mill a fortement mis l'accent sur la *méthode des résidus*, qui attire l'attention sur « l'impuissance des causes évidentes à rendre compte de l'ensemble de l'effet » (Mill, 1874, p. 285), et qu'il considère comme la plus féconde de ses méthodes de recherche des lois de la nature. Les cartes de résidus constituent l'équivalent géographique des résidus de Mill.

En pratique, cependant, l'analyse séquentielle des problèmes géographiques est de pratique moins courante que l'analyse *parallèle*. La seconde a beaucoup de points communs avec la « méthode des hypothèses de travail multiples » de Chamberlin (1897), selon laquelle diverses hypothèses sont examinées en même temps et non à la

suite l'une de l'autre, ce qui permet de décider de leur valeur relative. Cette démarche est le fondement de la méthode d'*analyse de régression multiple* (cf. pp. 330-333), que les géographes utilisent largement de nos jours. Les deux démarches, séquentielle et parallèle, mettent en application l'idée d'hypothèses multiples. La première a pour avantages la clarté du raisonnement et son caractère progressif; la seconde favorise davantage l'induction et met en évidence la nature multiforme des problèmes géographiques.

Les origines des hypothèses : la méthode du « fusil de chasse » ou des « Pléiades »

Comment naissent les hypothèses? Certaines jaillissent de l'imagination de tel ou tel chercheur : le concept de « région-cœur » (*heartland*) de Mackinder (1904) ou la hiérarchie des places centrales de Christaller (1933) peuvent être classés dans cette catégorie. D'autres peuvent avoir leur origine dans l'observation de structures spatiales répétées : le modèle de développement des réseaux de transport créé par Taaffe (Taaffe et *al.*, 1963) pourrait appartenir à cette catégorie « quasi inductive ». D'autres encore proviennent de l'emprunt d'idées à des disciplines plus complexes mais dont la démarche est parallèle. Bunge (1962) a montré comment les recherches faites dans des disciplines aussi différentes de la géographie que la cristallographie, la biométrie ou les télécommunications peuvent stimuler les hypothèses relatives à la localisation. L'histoire révèle que les idées fondamentales de bien des sciences appliquées (y compris la géographie) viennent d'un petit groupe de sciences pures centrées sur les mathématiques et la logique (Ackerman, 1963, p. 430).

Alors que l'utilité de ces sciences pures n'apparaît qu'à la longue, les géographes se trouvent souvent placés devant des problèmes plus immédiats. Est-il possible de susciter des hypothèses dans un domaine particulier de la géographie? Oui, d'après Miller et Kahn (1962, pp. 315-324), qui proposent ce qu'ils appellent la méthode du « fusil de chasse » ou des « Pléiades » pour l'analyse de grandes masses de données en l'absence d'hypothèses solides ou de conjectures à priori. Selon cette méthode, tous les facteurs sont intercorrélés, et la matrice de corrélation sert à définir les structures significatives.

Un exemple d'emploi de cette méthode en géographie humaine est donné dans une étude inédite (Haggett, 1959) sur les caractéristiques de la localisation des industries au Portugal. Nous avons mesuré une série de onze variables (les indices *A* à *K* dont la liste figure sur le tableau 10.2) dans un échantillon de vingt-huit industries, pour la période 1950-1955. Chacune des onze variables a été mise en rapport avec chacune des autres au moyen d'un coefficient de corrélation des rangs, le *rho* de Spearman, R_s (Siegel, 1956, pp. 202-213). On peut employer ce coefficient sans faire aucune supposition sur la distribution de fréquences des données : on le calcule beaucoup plus facilement que le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson, r (cf. pp. 292-294) en appliquant la formule :

$$R_s = 1 - \left\{ \left(6 \sum_{i=1}^N f_i^2 \right) / (N^3 - N) \right\}$$

TABLEAU 10.2

MATRICE DE COEFFICIENTS DE CORRÉLATION DES RANGS¹

Variables :	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Coefficient de localisation (A)	1	+ 0,72	- 0,02	+ 0,19	+ 0,15	- 0,09	+ 0,43	+ 0,13	- 0,15	-0,19	- 0,59
Quotient de localisation (B)		1	- 0,25	- 0,08	- 0,36	- 0,18	+ 0,25	+ 0,46	- 0,45	- 0,25	- 0,53
Espacement des établissements (C)			1	+ 0,52	+ 0,42	- 0,40	+ 0,45	- 0,14	- 0,20	- 0,19	- 0,05
Taille des établissements (D)				1	+ 0,79	+ 0,19	+ 0,25	- 0,76	- 0,02	+ 0,68	+ 0,04
Concentration (E)					1	+ 0,46	+ 0,28	- 0,80	+ 0,40	+ 0,73	+ 0,34
Investissements (F)						1	+ 0,34	- 0,01	+ 0,27	+ 0,06	+ 0,56
Taille des entreprises (G)							1	+ 0,33	- 0,34	- 0,57	- 0,42
Rap-ports { Matière premières/coûts (H)								1	- 0,32	- 0,90	- 0,22
{ Carburant / coûts (I)									1	+ 0,56	+ 0,55
{ Main-d'œuvre / coûts (J)										1	+ 0,38
{ Investissements / coûts (K)											1

1. Industries du Portugal, 1950-1955.

Source : P. HAGGETT, *op. cit.*, 1959, p. 19.

où N est le nombre d'unités (ici, les industries) et f_i la différence entre les rangs de l'unité i relativement à deux variables. R_s peut s'étendre de la valeur $+1$, qui indique un accord maximal entre les deux variables, à la valeur -1 , qui indique un désaccord total; les valeurs proches de zéro correspondent à des relations indéterminées entre les deux variables.

Le tableau 10.2 est une matrice qui présente toutes les combinaisons possibles des onze variables prises deux par deux. Les nombres indiqués dans chaque case de la matrice sont les valeurs de R_s . Mais, du fait que ces nombres ne mesurent que des relations statistiques, il est essentiel de savoir dans quelle mesure les valeurs obtenues correspondent aux prévisions théoriques que donnerait le calcul des probabilités. Les chiffres en caractères gras du tableau 10.2 représentent les valeurs de R_s dont la différence avec zéro est significative au seuil de confiance de 95 % (cf. section 2). On peut analyser ce tableau par référence à trois concepts : les paires fondamentales, les groupements *rho* et les groupes *F* (Olson et Miller, 1958).

1° Une *paire fondamentale* est caractérisée par le fait que chacune de ses deux variables est en corrélation plus forte avec l'autre qu'avec toute autre variable. Les paires constituent des points de convergence des valeurs et leur rôle premier est un rôle de « formateurs d'ensembles ». L'examen du tableau 10.2 fait apparaître que la plus forte valeur de R_s obtenue pour la variable J (part de la main-d'œuvre dans les coûts globaux) est celle qui mesure la corrélation avec H (part des matières premières dans les coûts) et inversement. Ces deux variables forment donc une paire fondamentale. Considérons une autre variable, C ; sa plus forte valeur de R_s est celle qui mesure sa corrélation avec D ; mais D (taille des établissements) est en corrélation encore plus forte avec une autre variable, E . Toute variable qui, comme C dans le cas présent, ne forme pas de paire fondamentale, est rattachée à la paire fondamentale avec un élément de laquelle sa corrélation est la plus forte (ici, la paire DE), de façon à former un ensemble.

Le tableau 10.3 présente les paires fondamentales et les ensembles dont elles forment

TABLEAU 10.3

PAIRES FONDAMENTALES, AU SEUIL DE CONFIANCE DE 95 %¹

	Ensemble défini par corrélation	Qualification
(1)		Ensemble des variables de coût
(2)		Ensemble des variables de dimension
(3)		Ensemble des variables de localisation

1. Industries du Portugal, 1950-1955.

Source : *Ibid.*, p. 17.

les noyaux. Les trois ensembles décelés sont les suivants : *l'ensemble 1* (variables de coût) dans lequel les variables coûts des matières premières et coûts de main-d'œuvre sont en corrélation forte mais négative; *l'ensemble 2* (variables de dimensions) dans lequel les variables taille de l'établissement et concentration sont en forte corrélation positive; *l'ensemble 3* (variables de localisation) dans lequel un groupe plus important de variables se rattache à un axe formé par le coefficient et le quotient de localisation.

2° L'analyse en paires fondamentales réduit le nombre des intersections et met un peu d'ordre dans la matrice, mais elle présente l'inconvénient de ne pas décrire tous les liens que la matrice fait apparaître. Par exemple, le tableau 10.2 montre que *A* appartient à l'ensemble 1, mais qu'il est également lié (quoique moins fortement) à *B* et à l'ensemble 3. Ce critère de corrélation maximale, qui est employé pour déterminer les ensembles dans l'analyse en paires fondamentales, peut être remplacé par

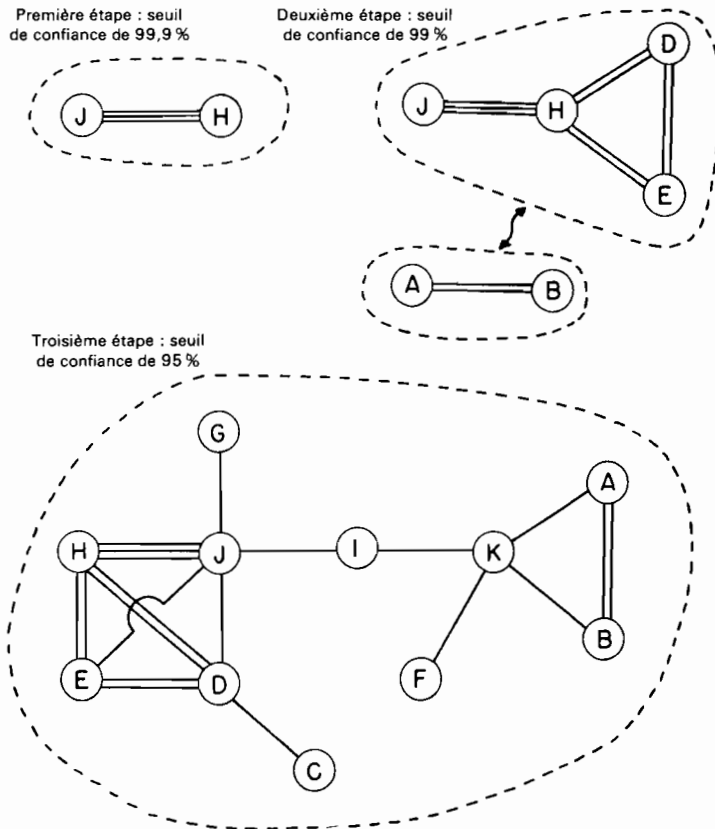


Fig. 10.2 — Modifications des schémas de liaison entre les variables des industries portugaises correspondant à un abaissement du seuil de confiance.

Source : HAGGETT, 1959, p. 20.

le concept de *groupement rho*, qui fait apparaître tous les liens existant à un seuil de confiance donné.

La figure 10.2 montre que les corrélations entre les variables sont beaucoup plus complexes que ne le révèle l'analyse en paires fondamentales. Les trois ensembles simples sont remplacés par deux groupements dont les liens internes sont solides et qui sont en partie liés l'un à l'autre par une variable commune, *I* (coût du combustible). Il est clair que les ensembles 1 et 2 se sont combinés en un groupement de quatre variables (auxquels s'ajoutent trois variables annexes), tandis que l'ensemble 3 a conservé son indépendance en formant un groupement de trois variables (auxquels s'ajoutent deux variables annexes).

3° On appelle *groupe F* un groupe quelconque de variables entre lesquelles on pense qu'il existe une liaison fonctionnelle. L'analyse des matrices de corrélation, faite dans la perspective des groupes *F*, distingue d'une part les liaisons fonctionnelles entre variables (par exemple entre les diverses variables de localisation), d'autre part

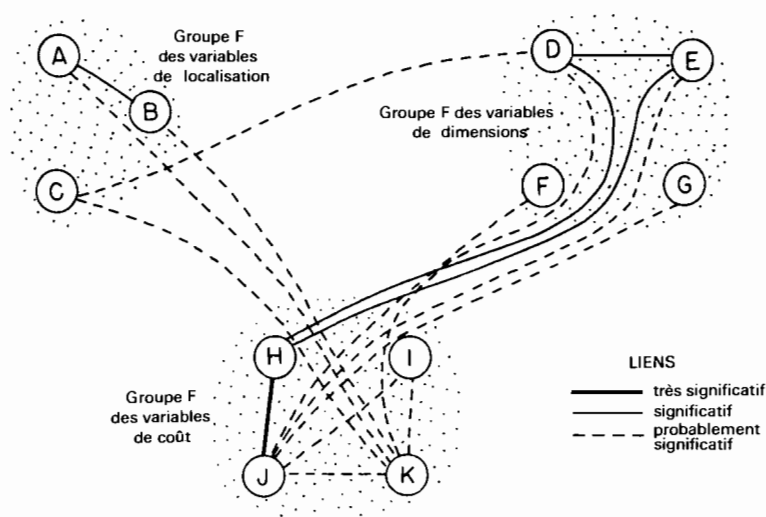


Fig. 10.3 — Analyse, par la méthode des groupes F, des schémas de liaison présentés sur la figure 10.2.

Source : HAGGETT, 1959, p. 21.

les liens avec des variables indépendantes. Sur la figure 10.3, les onze variables ont été classées en trois groupes *F* distincts : le groupe des « variables de localisation » (A, B, C), le groupe des « variables de dimensions » (D, E, F, G), et le groupe des « variables de coûts » (H, I, J, K). Les variables étant groupées sur cette base qualitative, la distinction entre liaisons internes à un groupe et liens entre groupes apparaît clairement.

L'analyse des industries portugaises faite selon cette méthode suggère deux hypothèses principales : la taille des établissements est liée aux coûts; la localisation est

liée aux investissements. En mettant en lumière les liaisons qui ont le plus d'importance et en éliminant celles dont les effets sont moindres, cette méthode fraye la voie à l'application des techniques classiques de test d'hypothèses.

Au passif de la méthode du fusil de chasse, rappelons cependant qu'il peut exister des liaisons entre une variable d'une part, plusieurs variables d'autre part. De telles liaisons n'apparaissent pas sur la matrice de corrélation (tableau 10.2) qui mesure seulement les liaisons entre variables prises deux par deux. Des techniques plus compliquées sont nécessaires pour traiter ce problème plus difficile. Berry (1960) a montré comment inverser une matrice et lui appliquer l'*analyse canonique* pour en extraire la « structure latente ». C'est à partir d'un tableau croisé de quatre-vingt-quinze pays et quarante-trois indices de développement économique qu'il a défini, par le calcul, les composantes principales présentées sur le tableau 8.1 (p. 251) : ces composantes conduisent à un certain nombre d'hypothèses relatives au développement économique.

L'hypothèse tirée de l'imagination a des chances de conserver la première place dans la recherche géographique; mais des techniques statistiques, plus ou moins complexes et efficaces, sont susceptibles de suggérer des hypothèses de travail en faisant apparaître l'organisation éventuellement latente dans les observations.

2. LES TESTS STATISTIQUES

Peu de vagues d'innovation ont déferlé sur la géographie avec plus de force et avec des effets aussi décisifs que l'analyse statistique. En 1955, l'emploi de méthodes statistiques dans la recherche géographique était une curiosité (sauf peut-être en climatologie). Vers 1965, beaucoup d'articles faisant une large place à l'analyse statistique étaient publiés dans de nombreuses revues américaines de géographie, notamment dans les *Annals of the Association of American Geographers*; même dans les revues anglaises, plus conservatrices, se manifestaient discrètement des tendances à l'emploi de ces méthodes. En outre, ont été publiés un manuel de statistique spécialement conçu pour les géographes (Gregory, 1963), une étude importante sur la cartographie statistique (Duncan et al., 1961), une bibliographie exhaustive de la géographie mathématique (Anderson, 1963), et un symposium sur les méthodes quantitatives en géographie (Garrison, 1967).

Il n'y a pas lieu de débattre ici du rôle à accorder à la statistique en géographie. Les arguments en sa faveur ont été exposés avec force par Burton (1963-A), qui considère la « révolution quantitative » comme à la fois inévitable et irréversible. Quant aux arguments contre l'emploi, ou plutôt contre l'emploi inconsideré de la statistique, Spate (1960) les a présentés dans un plaidoyer en faveur de l'analyse littéraire et qualitative. Des escarmouches ont été engagées à propos des techniques elles-mêmes, par Reynolds (1956) et Garrison (1956) sur la question de la statistique « géographique », et par Zabler (1958) et Mackay (1958-B) sur l'utilité de la variable χ^2 dans le tracé des limites régionales. L'ardeur du débat provient en grande partie du manque d'information et de compréhension, d'un côté comme de l'autre (Robinson, 1961-A).

La variété et la complexité des techniques statistiques sont telles que leur exposé dépasse le cadre de cet ouvrage; nous nous contenterons d'énoncer les problèmes que pose au départ l'application de tests statistiques aux populations géographiques, et de présenter, à l'aide de cinq exemples, quelques-unes des possibilités de ces méthodes. D'excellents manuels de statistique sont à la disposition de ceux qui voudraient aller plus loin. Le livre de Davies (1958) présente une introduction non mathématique très claire aux procédés types et constitue un excellent formulaire; celui de Siegel (1956) offre un tableau résumé des tests non paramétriques. Gregory (1963) a écrit une introduction aux méthodes statistiques appliquées aux données géographiques; des manuels semblables concernent l'écologie (Greig-Smith, 1964; Kershaw, 1964) et la géologie (Miller et Kahn, 1962). Deux courts exposés généraux nous semblent particulièrement intéressants, ceux de Strahler (1954) et de Chorley (*in* Dury, 1965) sur les applications de la statistique à la géomorphologie; ces articles font bien ressortir les problèmes, tant morphologiques que spatiaux, de l'analyse géographique.

Les difficultés d'application des tests statistiques

Deux des difficultés fondamentales que rencontre tout essai d'application des méthodes statistiques traditionnelles à la solution de problèmes géographiques ont leur source dans la nature même des populations géographiques (chap. 7, section 1). En effet, les mesures relatives à ces populations — taille des villes, pentes, etc. — révèlent couramment des distributions qui ne sont pas « normales » au sens statistique du terme (c'est-à-dire : ne suivent pas la loi de Laplace-Gauss), mais fortement dissymétriques; d'autre part, le niveau de mesure (*cf.* pp. 239-241) est souvent bas.

LA NATURE DES DISTRIBUTIONS GÉOGRAPHIQUES

Dans la plupart des tests statistiques, l'une des hypothèses fondamentales est que les valeurs observées sont distribuées symétriquement de part et d'autre de la moyenne, selon une fonction de densité normale représentée graphiquement par une courbe en cloche (Davies, 1958, p. 15). On sait peu de chose sur la distribution statistique des populations géographiques, mais les rares études déjà faites montrent clairement que les données géographiques ne se conforment à une distribution exactement normale que dans très peu de cas. Presque tous les indices dont les courbes cumulatives figurent dans l'atlas de Ginsburg ont une distribution fortement dissymétrique.

En présence d'une distribution non normale, il existe deux façons de tourner la difficulté :

1° Employer la vaste gamme des *tests* statistiques assez simples, dits *non paramétriques*, dont l'application n'exige pas que la distribution des observations soit normale. Siegel (1956) a présenté brièvement plusieurs tests de ce genre dans son livre *Non-parametric Statistics*. Ces tests posent un problème : l'échelle des mesures utilisées doit être au moins l'échelle ordinale; convertir à cette échelle les valeurs observées initiales peut entraîner l'abandon d'une partie de l'information qu'elles contenaient.

2° Analyser non les données initiales, mais une *transformation* adéquate de ces données, de façon à stabiliser les variations et à rendre la distribution plus proche de la normale; ainsi les tests paramétriques traditionnels peuvent être appliqués sans difficulté. Le tableau 10.4 indique les transformations les plus usuelles et leur effet sur les données initiales. Parmi elles, la plus couramment employée en géographie

TABLEAU 10.4

TRANSFORMATIONS EMPLOYÉES POUR NORMALISER OU STABILISER
DES DONNÉES

Distribution	Transformation	Remarques
Normale	—	—
Log-normale	Log X	Normalise les données
Binomiale	Arc-sinus	Stabilise la variance
Poisson	\sqrt{X}	Stabilise la variance
Gamma	\sqrt{X} ou log X	Stabilise la variance

est la transformation logarithmique, qu'ont appliquée King (1961) dans une étude sur l'espacement des villes aux États-Unis, et Haggett (1964) dans une étude sur la distribution des forêts dans le Sud-Est du Brésil. Thomas (1962, p. 17) a utilisé une extension de cette transformation, la transformation bilogarithmique : dans une étude sur l'espacement des localités de l'Iowa, il a pris le logarithme du logarithme des distances. Dans les études sur l'utilisation du sol, la transformation arc-sinus présente un intérêt particulier; Krumbein (1957) a exposé en détail les arguments en faveur de son adoption à la place de l'emploi direct de données qui se présentent sous forme de pourcentages ou de rapports; en gros, elle a pour effet de stabiliser la variance et de permettre l'emploi de plans d'expériences qui, autrement, seraient inadaptés. La figure 10.4 représente le résultat de la conversion de données (en pourcentages) relatives à la distribution des forêts au Portugal en unités *angulaires* par application de la transformation arc-sinus. Des tables de conversion figurent dans le livre de Fisher et Yates (1957, tableau X, p. 20).

Il n'est guère difficile de décider si la transformation arc-sinus est appropriée ou non à un cas donné : elle est adéquate si les données en pourcentages sont fondées sur l'observation de moins de 100 individus, ou s'il existe des valeurs inférieures à 30 % ou supérieures à 70 % (Jeffers, 1959, p. 74). Dans bien des cas, cependant, il peut être bon de se demander quelle transformation est adéquate, ou même s'il est nécessaire d'en faire une. Il est utile, à titre d'essai, de porter diverses transformations sur du papier gaussio-arithmétique, sur lequel une distribution normale est représentée par une droite. Jeffers (1959, p. 75) a présenté une méthode rapide qui permet de choisir la transformation adéquate en comparant la variance et la moyenne de l'échantillon sur du papier bilogarithmique. En pratique, plusieurs tests sont assez robustes

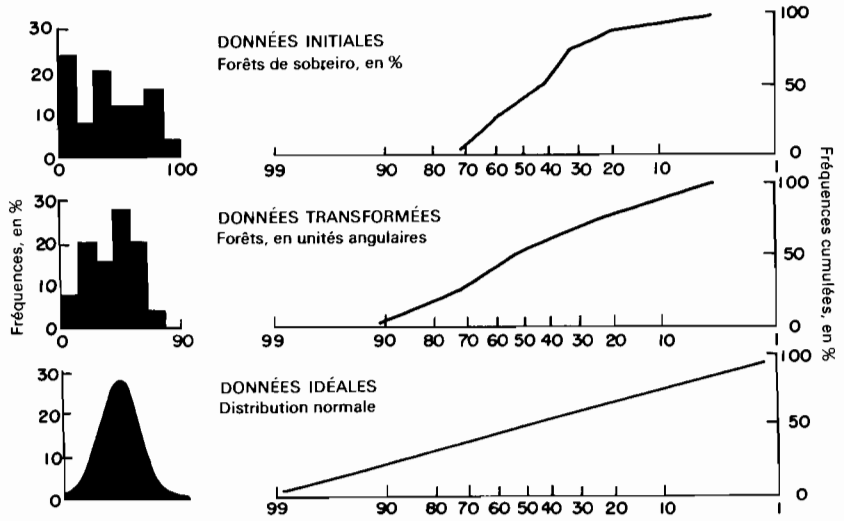


Fig. 10.4 — Transformation arc-sinus de données sur l'utilisation du sol.
 Source : HAGGETT, 1961 - B.

pour être peu affectés par de faibles écarts par rapport à la loi normale; des transformations approchées suffisent donc.

Ainsi, des transformations permettent d'appliquer à des populations géographiques non normales toute la gamme des tests paramétriques. Malheureusement, il faut ensuite faire une nouvelle transformation des résultats de l'analyse statistique, pour revenir à la forme initiale; cela peut être très difficile, et le chercheur isolé doit mettre en balance, dans chaque cas, les avantages théoriques et les inconvénients pratiques de ces opérations. Krumbein (1957) a néanmoins rappelé que le souci de conserver telle ou telle forme de mesure (par exemple les pourcentages, dans l'étude de l'utilisation du sol) est souvent fondé plutôt sur la tradition que sur les qualités uniques ou irremplaçables qu'aurait cette forme; par exemple, pour les mesures d'acidité, l'échelle *pH* est couramment acceptée, bien qu'elle soit logarithmique et non arithmétique.

LE NIVEAU DE MESURE DES DONNÉES

Nous avons déjà vu (chap. 8, section 1) quelle relation existe entre la notion de niveau de mesure et le choix des techniques appropriées au traitement d'un ensemble de données géographiques; cette relation s'étend au choix des opérations statistiques. Sur le tableau 10.5, les quatre échelles fondamentales de mesure (échelles nominale, ordinale, d'intervalles et de rapports) sont croisées avec le nombre de composantes étudiées. Quand il existe une seule composante, on ne s'intéresse qu'à un seul ensemble d'individus, à un seul caractère ou variable (X_1); il s'agit par exemple de la distance moyenne entre les unités d'habitat d'une région. Quand il existe deux composantes, on met en relation deux caractères de ce genre, par exemple la distance entre unités

d'habitat (X_1) et une variable que l'on suppose être un facteur de la première, comme la densité de population (X_2). Il est visible que ce cas est plus difficile, car le second caractère, X_2 , peut lui-même être mesuré à l'une des trois échelles : il est possible de mettre en relation la distance X_1 , qui est mesurée à l'échelle de rapports, avec une composante X_2 qui peut être par exemple le type d'utilisation du sol (mesuré à l'échelle nominale ou classificatoire) ou les périodes de peuplement (mesurées à l'échelle ordinale) aussi bien que la densité de population (mesurée à l'échelle de rapports). Ainsi, avec deux composantes, six combinaisons sont possibles; elles sont présentées dans la deuxième partie du tableau 10.5. Quand il existe plusieurs composantes, on met en relation plusieurs ensembles, plusieurs caractères ou variables, par exemple la distance entre unités d'habitat (X_1) avec à la fois la densité de population (X_2) et d'autres caractères ou variables (X_3, \dots, X_n).

TABLEAU 10.5
NIVEAUX DE MESURE ET OPÉRATIONS STATISTIQUES¹

Composante X_1	Échelles nominale, ordinale, d'intervalles ou de rapports	Échelles ordinale, d'intervalles ou de de rapports	Échelles d'intervalles ou de rapports	Échelle de rapports
<i>Une seule composante</i>				
	Fréquences Mode	Médiane Centiles	Moyenne Variance	Moyenne géométrique Moyenne harmonique Coefficient de variation
<i>Deux composantes</i>				
Deuxième composante (X_2)	Échelle nominale	Khi-carré Coefficient de contingence	Test U de Mann Whitney Corrélation des rangs : rho de Spearman, tau de Kendall	Comparaison de moyennes (par ex. test t de Student) Comparaison de variances (par ex. test F de Fisher-Snedecor)
	Échelle ordinale			
	Échelles d'intervalles et de rapports			Coefficient de corrélation (par ex. de Bravais-Pearson) Régression linéaire et non linéaire
<i>Plusieurs composantes</i>				
Autres composantes (X_3, \dots, X_n)	Échelles d'intervalles et de rapports	Analyse de variance Analyse de covariance		Corrélation multiple Régression multiple

1. Sur des échantillons seulement.

Dans le corps du tableau, quelques tests statistiques caractéristiques sont indiqués, chacun à sa place; les livres de Gregory (1963) et de Miller et Kahn (1962) expliquent en détail comment les calculer et les appliquer aux sciences de la terre. Le tableau fait clairement apparaître qu'à toute modification du niveau de mesure et du nombre de composantes correspond systématiquement un changement du nombre des techniques statistiques applicables. La première partie du tableau montre qu'il est possible de calculer seulement deux paramètres quand les données sont à l'échelle classificatoire, mais au moins neuf quand elles sont à l'échelle de rapports. Puisque le nombre des techniques applicables est également lié à la puissance des tests, la nécessité d'élever progressivement le niveau de mesure des phénomènes de localisation apparaît d'elle-même.

Les tests de comparaison simples

Il ne sera question ici que de deux tests de comparaison simples. Davies (1958, pp. 69-95) et Gregory (1963, pp. 115-166) ont décrit de façon complète d'autres tests, et Chorley (*in* Dury, 1965, pp. 275-387) a rassemblé un certain nombre d'exemples de leur emploi.

PREMIER EXEMPLE : LA COMPARAISON DE MOYENNES

Un problème, très simple et très fréquent, est posé lorsque les données se présentent sous forme de classes en ce qui concerne un des caractères, et sous forme de mesures très précises en ce qui concerne l'autre.

La figure 10.5 offre un cas de ce genre : les données relatives à l'espacement des localités sont à l'échelle nominale en ce qui concerne la variable indépendante (il s'agit simplement d'une classification en deux aires géographiques, l'Iowa-Missouri et le *Black Belt* du Texas), à l'échelle de rapports en ce qui concerne la variable dépendante (les distances en kilomètres entre localités sont connues exactement, dans les deux aires étudiées).

La comparaison des deux moyennes (\bar{X}_1 et \bar{X}_2) fait apparaître que la distance entre les petites villes du Texas (20,5 km) est plus grande que la distance entre villes de taille semblable de la région Iowa-Missouri (19,2 km). Mais la comparaison des deux histogrammes fait naître un doute. En effet, non seulement le chevauchement des deux distributions est considérable, mais le nombre des localités qui ont servi d'échantillon pour le calcul des moyennes est presque trois fois plus grand en ce qui concerne l'Iowa-Missouri qu'en ce qui concerne le Texas. Dans ces conditions, la différence entre les deux moyennes est-elle réellement significative, ou due au hasard?

Pour tester cette différence entre moyennes d'échantillons, on pose l'hypothèse nulle suivante : il n'existe pas de différence réelle entre les moyennes des deux aires étudiées. Cette hypothèse nulle peut être testée à l'aide de la variable t de Student, qui est calculée ainsi :

$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / \{ S_p \sqrt{(1/N_1) + (1/N_2)} \}$$

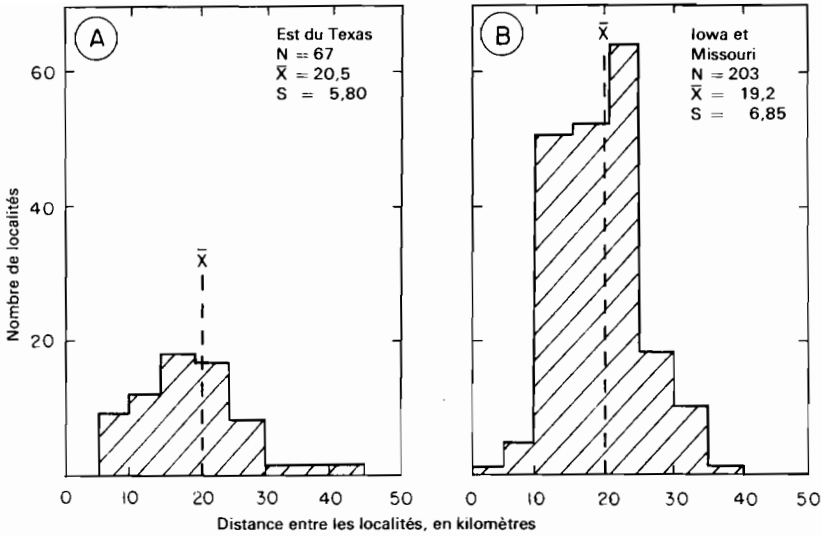


Fig. 10.5 — Histogrammes de l'espace des localités, dans deux aires échantillons du Centre des États-Unis.

Source : LÖSCH, 1954, p. 392.

Dans cette formule, \bar{X}_1 et \bar{X}_2 sont les moyennes du premier et du deuxième échantillon, N_1 et N_2 les effectifs du premier et du deuxième échantillon, et S_p l'« estimateur de la variance globale » (une valeur moyenne calculée à partir des écarts-types, S sur la figure 10.5, et des effectifs N_1 et N_2).

Dans l'exemple étudié ici :

$$t = (20,5 - 19,2) / \{ 43,4 \sqrt{(1/67) + (1/203)} \} = 0,219$$

La « table des valeurs de t » (Fisher et Yates, 1957, p. 44) montre qu'avec 268 degrés de liberté ($N_1 + N_2 - 2$), la probabilité de la valeur obtenue pour t est comprise entre 0,8 et 0,9. Cette probabilité est largement supérieure à celle ($P < 0,05$) qui correspond au seuil d'acceptation le plus bas; l'hypothèse nulle doit donc être retenue. Autrement dit, la différence de 1,3 km observée entre l'espace moyen des localités du Texas et celui des localités de l'Iowa-Missouri peut être due au hasard : elle est statistiquement *non significative*.

DEUXIÈME EXEMPLE : LA COMPARAISON DE RANGS

Un certain nombre de tests « non paramétriques » sont adaptés aux mesures qui ne sont pas à l'échelle d'intervalles ou de rapports. L'un des plus puissants tests

LA VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES

d'association, utilisable quand X_1 est à l'échelle classificatoire et X_2 à l'échelle ordinale, est le test U de Mann-Whitney. Pour un vaste échantillon ($n_2 > 20$), l'hypothèse nulle est testée par la variable U qui est calculée ainsi, l'échantillon étant partagé en deux groupes :

$$U = N_1N_2 + \{ N_1(N_1 + 1) \} / 2 - R_1$$

Dans cette formule, N_1 est l'effectif du plus petit des deux groupes, N_2 l'effectif du plus grand, R_1 la somme des rangs donnés aux unités du groupe d'effectif N_1 (Siegel, 1956, pp. 116-127).

Le tableau 10.6 représente une série de mesures tirées (Haggett, 1961-A, p. 52) d'un échantillon de 40 photographies aériennes du bassin de Fortaleza (État de São Paulo, Brésil) : les photographies sont partagées en deux groupes correspondant à deux types de terrain. Nous avons estimé, photo par photo, les surfaces cultivées, puis rangé les valeurs obtenues de la plus forte (rang 1) à la plus faible (rang 40), en faisant un seul rangement pour les deux groupes de photos.

TABLEAU 10.6

RANGEMENT DES ESTIMATIONS DE SURFACES CULTIVÉES ¹

	Nombre de photos (N)	Rangement des estimations
Types de terrain :		
— fonds de vallées	10	1 2 3 6 8 10 14 16 18 33
— pentes	30	4 5 7 9 11 12 13 15 17 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 34 35 36 37 38 39 40

1. Bassin de Fortaleza dans le Sud-Est du Brésil.

Dans cet exemple :

$$U = 10 \times 30 + 10(10 + 1)/2 - 111 = 244$$

Les méthodes qui permettent de déterminer le seuil de signification de la valeur obtenue pour U dépendent de la taille de N_2 . Si N_2 est inférieur à huit, ou compris entre neuf et vingt, le seuil de signification de la valeur de U peut être tiré des tables de Mann-Whitney, qui sont reproduites dans le livre de Siegel (1956, table J, pp. 271-273; table K, pp. 274-277). Mais si, comme dans l'exemple présenté ici, N_2 est supérieur à vingt, il faut calculer la variable z :

$$z = \{ U - (N_1N_2)/2 \} / \sqrt{N_1N_2(N_1 + N_2 + 1) / 12}$$

et voir à quelle probabilité correspond cette valeur sur une table des valeurs de z (Siegel, 1956, table A, p. 247). Dans l'exemple présenté ici :

$$z = \{ 244 - 10 \times 30/2 \} / \sqrt{10 \times 30 (10 + 30 + 1)/12} = 2,94$$

La table des valeurs de z indique que la probabilité correspondante est $P = 0,0026$ (Siegel, 1956, table A, p. 247). Cette valeur est comprise dans l'intervalle de confiance $0,01 > P > 0,001$. On peut donc considérer que la liaison entre le type de terrain et le degré de mise en culture est statistiquement significative, au seuil de confiance de 99 %.

Le test de Mann-Whitney et quelques autres permettent de connaître la signification de la différence entre sous-échantillons indépendants qui ne sont pas à l'échelle d'intervalles ou de rapports. Parmi eux, le test de Kolmogorov-Smirnov et le test de Wald-Wolfowitz aident à déterminer si deux échantillons appartiennent à des populations statistiques qui diffèrent d'un point de vue quelconque, alors que le test de Mann-Whitney est particulièrement sensible aux différences existant entre caractéristiques de tendance centrale. Pour bien choisir le test à utiliser dans une situation donnée, il faut prendre en considération la puissance relative des tests aussi bien que la taille des échantillons et la précision des mesures (Siegel, 1956, pp. 156-158).

Les comparaisons de tendances

Quand deux ou plusieurs ensembles de données sont collectés simultanément pour un grand nombre de localisations, on peut vouloir rechercher les *tendances* existant dans les relations entre ces ensembles. Pour traiter ce problème, la méthode statistique traditionnelle est l'*analyse de régression*. Nous allons exposer brièvement comment l'analyse de régression simple et l'analyse de régression multiple s'appliquent à deux problèmes géographiques caractéristiques. Davies (1958, pp. 150-272) et Gregory (1963, pp. 185-208) ont clairement résumé les principales étapes de ce type d'analyse. L'ouvrage de référence sur l'analyse de régression multiple est celui d'Ezekiel et Fox (1959); mais, pour les géographes, il peut être plus utile de consulter l'exposé très clair qu'a fait Krumbein (1959-A) sur l'application de cette méthode au « tri » d'un groupe de facteurs dont dépend la solidité des plages. Duncan et *al.* (1961, pp. 99-128) ont discuté les problèmes que pose l'application de l'analyse de régression à des données spatiales, et Robinson (Robinson et Bryson, 1957; Robinson, 1962) a étudié le problème difficile de la comparaison statistique entre cartes de tendances en isarithmes.

TROISIÈME EXEMPLE : L'ANALYSE DE RÉGRESSION SIMPLE

Le premier type de recherche d'une liaison entre deux variables mesurées à l'échelle de rapports est la *régression linéaire*, par laquelle on essaie de définir la fonction qui lie X et Y ; dans l'expression $Y = f(X)$, Y est considéré comme un « effet », X comme

une « cause », et f est un symbole qui signifie « fonction de ». Pour faire une recherche de ce type, il faut avoir de fortes raisons logiques d'attribuer à une variable, plutôt qu'à l'autre, le rôle de cause. Par exemple, il est possible de dire que de faibles chutes de pluie peuvent être la cause d'une pénurie de blé, mais non l'inverse!

La figure 10.6 présente un exemple d'analyse de régression, dans lequel une tendance est nettement affirmée. Les données utilisées sont les distances, mesurées par Lösch, entre les localités de 1 000 à 4 000 habitants situées dans une bande de 130 kilomètres de large et 1 000 kilomètres de long qui s'étend de Chicago à la limite orientale du Nebraska. Ces données sont portées sur le graphique de la figure 10.6 A : la variable indépendante (la « cause ») est sur l'axe des x , la variable dépendante (« l'effet ») sur l'axe des y . Les points du graphique montrent que l'espacement croît légèrement à mesure qu'augmente la distance à partir de Chicago; mais cette croissance n'est pas régulière, et l'on a des raisons de penser que la situation décrite n'est pas simple. Il s'agit donc de découvrir la forme exacte de la fonction qui lie X et Y , et de vérifier, par un test, si la liaison trouvée est statistiquement significative.

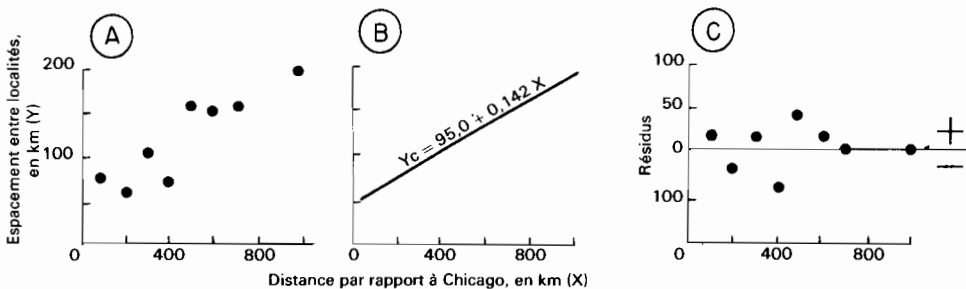


Fig. 10.6 — Étapes de l'analyse de régression de l'espacement de localité (y) en fonction de la distance par rapport à Chicago (x) : A. Graphique de dispersion. — B. Droite de régression ou de meilleur ajustement. — C. Résidus obtenus par régression ($y - y_c$).

Pour déterminer la fonction, on peut prendre la droite de régression ou droite de meilleur ajustement, c'est-à-dire la droite qui s'ajuste le mieux aux points portés sur le graphique (Gregory, 1963, pp. 185-208). L'équation générale de cette droite est $Y = a + bX$, a et b étant deux constantes. La constante a détermine la position de l'intersection de la droite de régression avec l'axe des Y ; la constante b , qui détermine la pente de la droite, est appelée *coefficient de régression*. Sur la figure 10.6 B, la liaison est positive; autrement dit, toute croissance de X est accompagnée par une croissance de Y . On trouve tout aussi couramment une liaison négative : le coefficient de régression b est négatif, et la droite s'abaisse vers la droite du graphique.

Sur la figure 10.6 B, la droite de régression a été ajustée aux données de Lösch par la *méthode des moindres carrés*. La fonction qui lie l'espacement (Y) et la distance par rapport à Chicago (X) est : $Y = 95,0 + 0,142 X$. Cette droite de régression ou de meilleur ajustement est une approximation de la tendance présentée par les points

de la figure 10.6 A, mais il est évident qu'aucun des points n'est réellement situé sur la droite, et que plusieurs valeurs en sont à une certaine distance. D'où la nécessité de décider, au moyen d'un test, si la liaison entre Y et X est statistiquement significative, ou si elle n'est due qu'au hasard. L'examen du graphique fait apparaître que trois facteurs sont d'une importance primordiale dans la détermination du seuil de signification de la tendance : le nombre de points, la pente de la droite, et le degré de dispersion des points de part et d'autre de la droite. Si le nombre de points est très petit, ou si la droite a une pente très faible (si elle est presque parallèle à l'axe des X), même un examen rapide du graphique permet de penser que la tendance est peu marquée.

Dans l'exemple présenté ici, le nombre de points ($N = 10$) et la pente de la droite ($b = 0,142$) sont déjà connus. Le degré de dispersion est mesuré par une caractéristique appelée erreur type d'estimation, notée $S_{y,x}$, et calculée ainsi :

$$S_{y,x} = \sqrt{\Sigma (Y - Y_c)^2 / (N - 2)}$$

Dans cette formule, Y est l'ordonnée d'un point d'abscisse X , et Y_c l'ordonnée de la droite de régression pour la même abscisse X ; on peut faire apparaître les différences $(Y - Y_c)$ en traçant de courts segments parallèles à l'axe des y et joignant les points à la droite de régression. Cette caractéristique est apparentée à l'écart-type, puisqu'elle mesure la dispersion des valeurs de part et d'autre de la droite de régression.

Dans l'exemple présenté ici, le calcul donne : $S_{y,x} = 26,9$ km, ce qui signifie qu'environ deux tiers des valeurs Y doivent théoriquement différer de 27 km ou moins des valeurs données par la droite de régression, quelle que soit la distance par rapport à Chicago.

Les trois facteurs (nombre de points, pente, dispersion) étant connus, il est possible de revenir au problème du seuil de signification de la tendance présentée par la figure 10.6. Pour faire ce test, on pose une *hypothèse nulle* qui revient à adopter le point de vue attentiste ou sceptique : « il n'existe aucune tendance liant l'espacement des localités à la distance par rapport à Chicago », et on s'en tient à cette hypothèse jusqu'à ce que se présentent des raisons de l'abandonner. L'hypothèse nulle est testée au moyen de la variable t de Student que l'on calcule ainsi :

$$t = \{ b \sqrt{\Sigma (X - \bar{X})^2} / S_{y,x}$$

Dans cette formule, $\sqrt{\Sigma (X - \bar{X})^2}$ mesure la dispersion de toutes les valeurs X autour de leur moyenne \bar{X} . Dans l'exemple présenté ici :

$$t = 0,142 \times 905,5 / 26,9 = 4,78$$

On se reporte alors à la table des valeurs de t (Fisher et Yates, 1957, p. 44) et on constate, dans la ligne correspondant à huit *degrés de liberté* ($N - 2$), que cette valeur se trouve entre les colonnes 0,01 et 0,001. Il n'existe donc qu'une très petite probabilité

(comprise entre 1/100 et 1/1 000) pour que cette liaison (la tendance à tester) soit due au hasard. L'hypothèse nulle doit donc être rejetée; on peut considérer que la pente de la droite qui représente la tendance (fig. 10.6 B) est statistiquement significative, au seuil de confiance de 99 %.

Jusqu'ici, nous avons parlé de la régression linéaire : l'échelle des axes X et Y est arithmétique, et la courbe de régression est une droite. Mais il existe d'autres fonctions, qui peuvent produire un meilleur ajustement aux données portées sur le graphique. La figure 10.7 en donne quatre exemples :

- A — une fonction logarithme : $Y = 1 + \log_{10}(X + 2)$
- B — une fonction exponentielle : $Y = 1 - 0,01 e^X$
- C — une fonction puissance : $Y = 10 X^{1/2}$
- D — une fonction polynôme : $Y = 10 - 5 X + X^2$

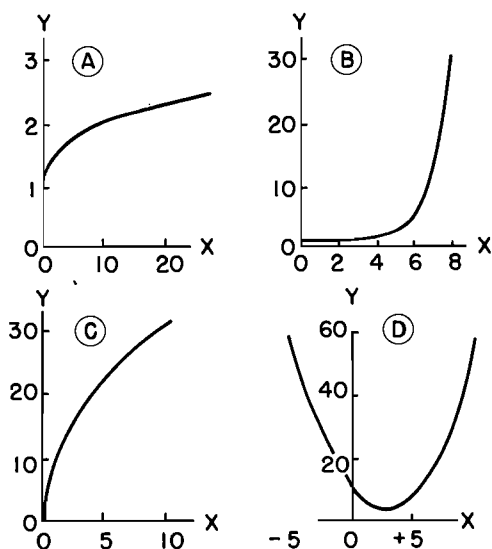


Fig. 10.7 — Liaisons non linéaires.
Sources : BROOKS et CARRUTHERS, 1953, p. 301.

Dans chacun de ces cas, la liaison entre X et Y n'est pas simplement linéaire. On peut parfois « transformer » ces fonctions en graduant selon une échelle spéciale l'un des deux axes du graphique, ou les deux. Mais, comme nous l'avons souligné ci-dessus (p. 320), ces distributions « non normales » sont importantes pour nous, dans la mesure où bien des distributions géographiques connues semblent être de ce type.

QUATRIÈME EXEMPLE : L'ANALYSE DE RÉGRESSION MULTIPLE

Lorsque — le cas est fréquent — un effet peut être expliqué non par une seule cause mais par plusieurs, on a besoin d'un procédé de calcul permettant de lier cet effet (Y) à un certain nombre de causes combinées (X_1, X_2, \dots, X_n). Ce problème est résolu

par l'analyse de régression multiple, qui consiste à rechercher les valeurs des constantes a, b, \dots, z de l'équation :

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + zX_n$$

Un exemple typique d'application de ce procédé à l'analyse des répartitions géographiques est l'étude de MacCarty et *al.* (1956) sur la distribution de l'industrie des machines-outils dans les préfectures du Japon. L'équation de liaison obtenue est :

$$Y = 0,68 X_1 + 0,37 X_2 + 0,42 X_3 + 0,46 X_4 - 44,56$$

Dans cette formule, Y est l'industrie des machines-outils, X_1 l'industrie de l'imprimerie, X_2 l'industrie chimique, X_3 l'industrie de la filature et X_4 l'industrie alimentaire. Grâce à l'emploi de ce procédé, MacCarty a pu tester la validité d'un certain nombre de théories précédemment émises pour expliquer la distribution géographique de l'industrie.

Nous avons (Haggett, 1964) analysé la distribution des forêts (Y) dans le Sud-Est du Brésil (fig. 9.20) en posant cinq hypothèses relatives à l'action de cinq facteurs dont la liste figure sur le tableau 10.7. Chaque hypothèse a été testée par analyse de régression simple; le niveau d'explication de la distribution des forêts atteint pour chaque facteur est indiqué dans la colonne « réduction de la variance ». La variance totale du pourcentage du sol occupé par la forêt étant réduite à 100 %, il est possible d'exprimer en pourcentages les variances correspondant à chacun des cinq facteurs.

TABLEAU 10.7

FACTEURS ÉTUDIÉS DANS UNE ANALYSE DE RÉGRESSION MULTIPLE
DE LA RÉPARTITION DES FORÊTS¹

Facteurs	Transformation	Liaison	Réduction de la variance
Indice de relief (X_1)	Logarithmique	Directe	38,4 %
Indice d'espacement de l'habitat (X_2)	Logarithmique	Directe	7,2 %
Indice de densité de population rurale (X_3)	Logarithmique	Inverse	19,4 %
Indice de densité de la végétation forestière (X_4)	Logarithmique	Directe	47,5 %
Indice de valeur du sol (X_5)	Logarithmique	Inverse	13,2 %

1. Sud-Est du Brésil.

Source : P. HAGGETT, in *Geographical Journal*, 1964, p. 374.

L'indice de densité de la végétation forestière (X_4) et l'indice de relief (X_1), pour lesquels les valeurs obtenues sont respectivement de 47 et 38 %, apparaissent nettement comme des facteurs très importants de la répartition des forêts.

Ce qui rend difficile l'interprétation des équations obtenues séparément pour chaque facteur, c'est que chacune suggère une liaison simple; l'expérience donne

plutôt à penser que chaque facteur agit en tant qu'élément d'un complexe, le milieu. L'analyse de régression multiple permet de combiner les facteurs par deux, par trois, par quatre ou par cinq, pour étudier leur action conjointe. Les résultats donnés par les combinaisons par paires sont présentés sur la figure 10.8 : le niveau d'explication est plus élevé que celui que l'on atteint en considérant chaque facteur isolément.

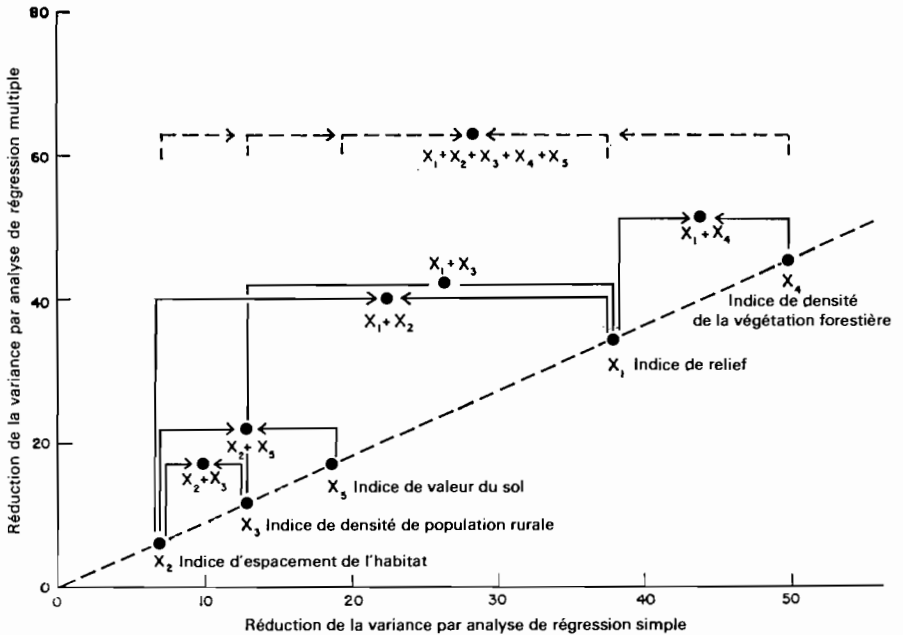


Fig. 10.8 — Comparaison des résultats de l'analyse de régression simple et de l'analyse de régression multiple : exemple de la répartition des forêts dans le Sud-Est du Brésil.

Source : HAGGETT, 1964, p. 374.

En étudiant l'action conjointe des cinq facteurs, on explique environ deux tiers des variations régionales de la répartition des forêts.

Un procédé très intéressant et peut-être plus facile à comprendre permet de faire apparaître les résultats de l'analyse de régression : *la cartographie des résidus*. Cette technique a été exposée par Thomas (1960). La figure 10.9 en donne une illustration : les aires en grisé et affectées du signe plus sont celles où le pourcentage de la surface du sol réellement couvert par la forêt est supérieur au pourcentage qui serait atteint si la répartition des forêts obéissait exactement à chacune des hypothèses; ce sont les anomalies positives. De même, les aires en grisé et affectées du signe moins correspondent aux anomalies négatives. Aux hypothèses qui fournissent une bonne « prédiction » de la répartition des forêts correspondent des cartes comportant des « maxima » et des « minima » assez peu marqués; au contraire, les cartes comportant des anomalies étendues indiquent de mauvais ajustements. Les *résidus positifs* sont,

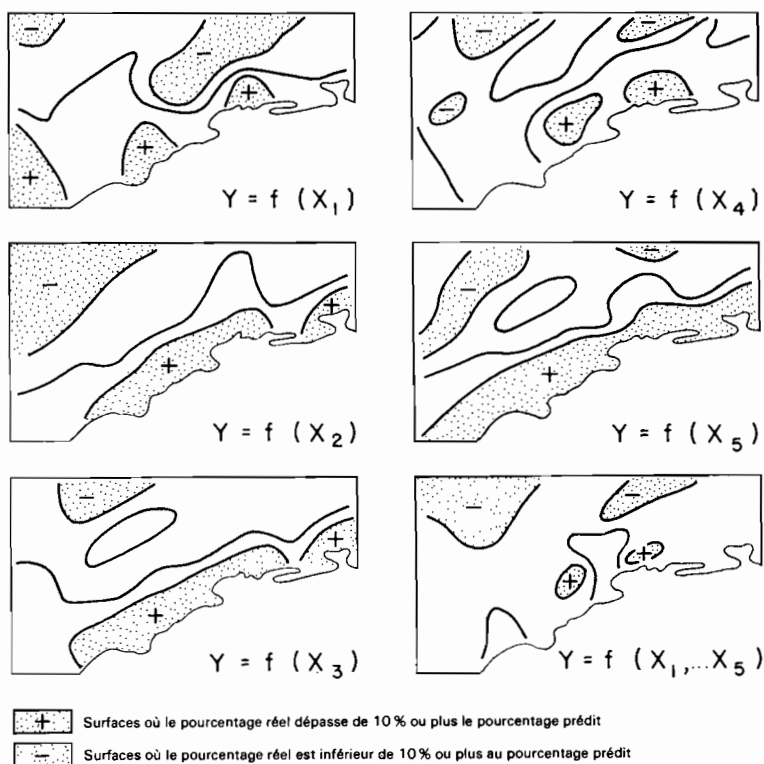


Fig. 10.9 — Cartes de résidus du Sud-Est du Brésil ($G = 3,9$) : aires où le pourcentage de forêts n'est pas « expliqué » par l'analyse de régression.
 Source : HAGGETT, 1964, p. 375.

pour les six équations correspondant aux six hypothèses, localisés dans une bande de trente miles, le long de la côte. A l'intérieur de cette bande littorale, certains noyaux apparaissent et réapparaissent sur les cartes. Mais, sur la carte correspondant à l'hypothèse combinant les cinq facteurs, ces résidus positifs se contractent en deux petits « maxima » de forme elliptique et dont le grand et le petit axes mesurent, respectivement, vingt et dix miles environ. Les *résidus négatifs* sont concentrés de façon semblable, mais ils se localisent loin de la côte, autour de deux importants noyaux qui réapparaissent d'une carte à l'autre. Ces aires d'anomalie négative sont divisées par les hautes terres de l'escarpement de la Serra da Mantiqueira, et moins stables que les résidus positifs, tant en ce qui concerne leur localisation que leur étendue. L'équation qui prend en compte les cinq facteurs ne laisse subsister qu'un « minimum » qui s'enfonce comme un coin sur une profondeur de quarante miles en direction du Sud-Ouest. Il est probable que les aires de résidus, tant positifs que négatifs, sont des secteurs où agissent des facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. C'est évidemment ces aires qu'il vaudrait la peine d'étudier de près, cas par cas.

Les plans d'expérience

Les tests présentés dans les exemples ci-dessus se rapportent principalement aux méthodes statistiques qui permettent d'extraire des informations de données géographiques préexistantes. Il sera question maintenant de plans d'expérience relatifs à des localisations : successivement, des questions sont formulées, des tests statistiques choisis, des observations faites sur le terrain. Quand on suit un plan d'expérience, la collecte des données sur le terrain n'est faite qu'à un stade tardif du processus de recherche. Krumbein (1955-B) a passé en revue les plans d'expérience employés dans les sciences de la terre; Davies (1956), dans son livre *The Design and Analysis of Industrial Experiments*, a présenté une mine d'idées et de techniques, qui pourraient s'avérer en grande partie applicables aux études géographiques. L'étude de Melton (1960) sur les relations entre les pentes et les facteurs locaux du milieu est un exemple particulièrement intéressant d'application d'un plan d'expérience à une situation observable sur le terrain.

CINQUIÈME EXEMPLE : LES EXPÉRIENCES FACTORIELLES

Nous avons (Haggett, 1964) utilisé un type élémentaire de plan d'expérience, le plan *factoriel*, pour étudier la répartition des forêts dans un petit pays de 100 kilomètres carrés du Sud-Est du Brésil, le bassin de Fortaleza. D'après une étude préliminaire, quatre facteurs — le relief (*A*), le sol (*B*), la taille des exploitations agricoles (*C*)

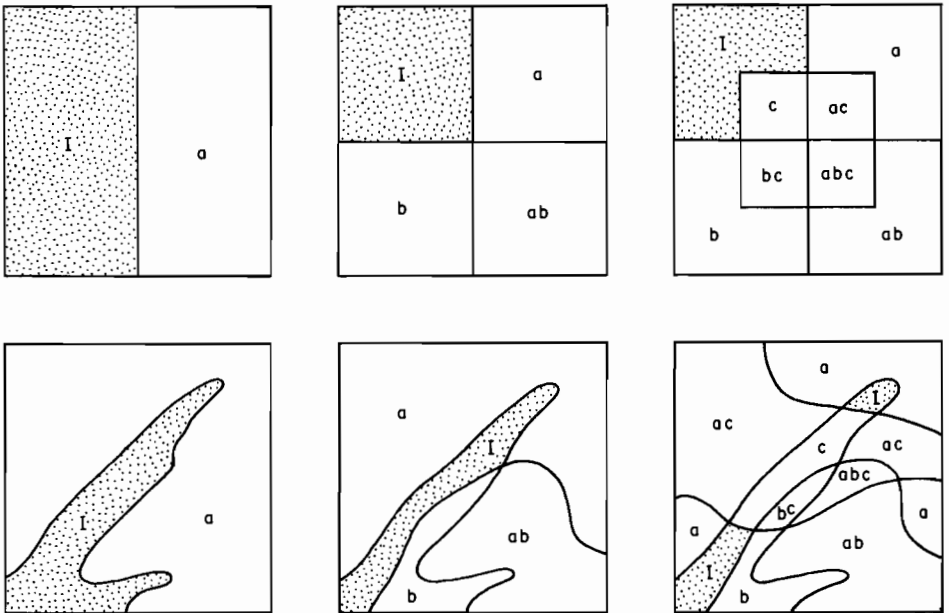


Fig. 10.10 — Étapes de la division d'une région, selon un plan d'expérience à trois facteurs.

et leur accessibilité (*D*) — pouvaient être d'importants facteurs du milieu. Nous avons testé chaque facteur à deux niveaux. Par exemple, le premier facteur, le relief, a été défini par la pente (l'angle avec l'horizontale) et une division en deux classes séparées par une valeur critique a été établie : d'une part les pentes supérieures à 5 degrés (I sur la figure 10.10 A), d'autre part les pentes inférieures à 5 degrés (*a*). La figure 10.10 A présente le partage, fait sur cette base, d'une aire théorique et d'une aire réelle tirée de la région étudiée. Du point de vue du deuxième facteur, le sol, nous avons aussi défini une division en deux classes : les sols sur micaschistes (*b*) et les autres sols (I). Du croisement des deux premiers facteurs résultent quatre combinaisons possibles : I, *a*, *b* et *ab* (fig. 10.10 B). Le croisement avec les deux autres facteurs, pour chacun desquels est également définie une division en deux classes, produit au total 16 combinaisons (tableau 10.8), qui vont de la combinaison I, dans laquelle aucun facteur n'a théoriquement d'effet positif sur le couvert forestier, à la combinaison *abcd*, dans laquelle les quatre facteurs agissent tous ensemble. Nous avons

TABLEAU 10.8

DÉFINITION DE COMBINAISONS DE FACTEURS¹

Facteur A : Relief	Facteur B : Sol	Facteur C : Taille des exploitations	Facteur D : Accessibilité des exploitations
<i>a</i> . Pentes > 5°	<i>ab</i> . Sur micaschiste	<i>abc</i> . Moyenne	<i>abcd</i> . Moins de 2 km <i>abc</i> . Plus de 2 km
		<i>ab</i> . Grande	<i>abd</i> . Moins de 2 km <i>ab</i> . Plus de 2 km
	<i>a</i> . Autres	<i>ac</i> . Moyenne	<i>acd</i> . Moins de 2 km <i>ac</i> . Plus de 2 km
		<i>a</i> . Grande	<i>ad</i> . Moins de 2 km <i>a</i> . Plus de 2 km
I. Pentes < 5°	<i>b</i> . Sur micaschiste	<i>bc</i> . Moyenne	<i>bcd</i> . Moins de 2 km <i>bc</i> . Plus de 2 km
		<i>b</i> . Grande	<i>bd</i> . Moins de 2 km <i>b</i> . Plus de 2 km
	I. Autres	<i>c</i> . Moyenne	<i>cd</i> . Moins de 2 km <i>c</i> . Plus de 2 km
		I. Grande	<i>d</i> . Moins de 2 km I. Plus de 2 km

1. Bassin de Fortaleza, comté de Taubaté, Brésil.

Source : P. HAGGETT, art. cité, 1964, p. 369.

tracé, sur une carte à 1/10 000 du bassin de Fortaleza, les limites correspondant à chacune des divisions en deux classes. L'entrecroisement de ces limites a permis de définir plus de 100 secteurs, dont chacun appartient à l'un des 16 types de combinaisons de facteurs. Pour chaque type, nous avons repéré sur la carte 16 points échantillons,

Les résultats de cette analyse sont présentés schématiquement dans le tableau 10.9; il convient de noter que la proportion de sol couverte par la forêt pour chaque type de combinaison de facteurs n'y est pas indiquée sous la forme traditionnelle de pourcentages de la surface totale, mais en unités angulaires. Il est en effet difficile d'introduire des données en pourcentages dans une analyse statistique, particulièrement lorsque les valeurs à traiter sont des pourcentages compris entre 0 et 30 %. D'où la nécessité de convertir les valeurs initiales, exprimées en pourcentages, en une forme plus stable, en les transformant en valeurs angulaires qui s'étendent de 0 à 90 degrés. Les arguments en faveur d'une telle conversion ont été exposés ci-dessus (cf. transformation arc-sinus pp. 321-322).

TABLEAU 10.10

FACTEURS DE VARIATION DE LA RÉPARTITION DES FORÊTS¹

	Mesure de l'effet (en degrés)	Rapport F	Signification
Facteurs pris isolément :			
Relief (A)	+ 9,8	9,3	Significatif ²
Sol (B)	+ 4,7	1,6	Non significatif
Taille des exploitations (C)	+ 4,0	1,2	Non significatif
Accessibilité des exploitations (D)	+ 8,7	8,2	Significatif ²
Interactions :			
BD (sol × accessibilité)		10,7	Significatif ²
Autres interactions du 1 ^{er} ordre (paires)		1,8	Non significatif
Interactions du 2 ^e et du 3 ^e ordre (ABC, ABD, ABCD)		—	—

1. Bassin de Fortaleza, comté de Taubaté, Brésil.
2. Seuil de confiance : 95 %.

Source : *Ibid.*, p. 370.

Nous avons analysé les résultats du tableau 10.9 en utilisant un procédé dû à Yates (Davies, 1956, p. 283) (tableau 10.10). Dans la première partie de ce tableau, l'effet de chaque facteur considéré isolément est présenté comme une valeur positive, exprimée en degrés. Il convient de noter que, si tous les facteurs agissent, deux seulement (le relief et l'accessibilité des exploitations) ont un effet statistiquement significatif au seuil de confiance de 95 %. Un point intéressant apparaît dans la deuxième partie du tableau : la forte interaction des facteurs sol et accessibilité des exploitations (BD); ceci donne à penser que les exploitations accessibles tendent à être localisées sur les sols formés à partir du micachiste; ainsi l'effet important de l'accessibilité des exploitations sur la répartition des forêts englobe un facteur sol « caché ».

Le plan factoriel n'est que l'un des nombreux plans d'expériences qu'il est possible d'employer en géographie. Des plans à plusieurs degrés ont déjà été utilisés dans

l'analyse en composantes d'échelle (chap. 9), et la méthode des *carrés latins* dans d'autres sciences de la terre (Krumbein, 1953). Haggett (1961-A) a employé un plan d'expérience moins efficace, la méthode des *comparaisons par paires*, dans une étude sur de petits bassins-versants, au Brésil : dans chaque paire, les deux bassins-versants étaient semblables en ce qui concerne le climat, les roches, la pente, la surface et la morphométrie, mais totalement différents à un point de vue : l'un des bassins était couvert de forêts, l'autre défriché. David (1963), dans son livre *The Method of Paired Comparisons*, a montré comment on peut, dans des conditions favorables, utiliser cette « méthode par élimination » pour tester les facteurs qui subsistent.

3. LES VÉRIFICATIONS PAR ANALOGIES

Nous avons vu, à propos de la construction des modèles (chap. 1, section 3), qu'il existe, à côté des méthodes de recherche mathématiques et statistiques, des méthodes utilisant des expériences et des analogies avec des phénomènes naturels pour corroborer les théories. On n'a guère fait appel à celles-ci en géographie, surtout en géographie humaine, mais des signes indiquent un changement à cet égard. Nous allons examiner les aspects les plus intéressants des méthodes de simulation. Chorley (1964) a passé en revue les applications de certaines d'entre elles.

La simulation par analogie avec des phénomènes physiques

Dans les diverses branches de la géographie physique, la réalisation d'expériences pose des problèmes de dimensions ardues; en géographie humaine, il est encore plus difficile d'apprécier leur pertinence. Bunge (1962, pp. 109-119) a cependant montré combien de telles expériences seraient utiles pour examiner les plus abstraites théories spatiales relatives aux mouvements et à l'organisation régionale. Il expose comment Enke (1951) a pu résoudre des problèmes d'équilibre spatial par une analogie avec les circuits électriques, et comment Hotelling (1921) a pu présenter une théorie des migrations humaines par référence à la propagation de la chaleur à travers une feuille de cuivre. D'autres exemples incitent à penser que la dynamique des flux — théorie des fluides en hydrodynamique, théorie cinétique des gaz — s'applique bien à la solution des problèmes de mouvement qui se posent en géographie humaine.

Bunge (1964, pp. 33-35) a décrit une expérience de physique très simple, dans laquelle le modèle des places centrales de Christaller et Lösch est simulé au moyen de barreaux aimantés flottants. Chaque barreau aimanté est encastré dans un bouchon de liège, son pôle positif dirigé vers la partie supérieure du bouchon, dont l'autre extrémité est plombée; ainsi tous les barreaux et bouchons ont, en flottant, la même position. On peut soutenir que, théoriquement, puisque les pôles positifs se repoussent mutuellement, les aimants flottants doivent tendre à se disposer de façon à maximiser la distance entre eux. L'expérience consiste à laisser tomber simultanément vingt

aimants de ce genre dans un réservoir circulaire en partie rempli d'eau, puis à enregistrer la position de repos ou d'équilibre qu'ils occupent finalement. Cette opération est répétée une centaine de fois.

TABLEAU 10.11

SIMULATION DU MODÈLE DES PLACES CENTRALES
AU MOYEN D'AIMANTS FLOTTANTS

	Carrés	Pentagones	Hexagones	Heptagones	Autres
Proportion des essais (en %)					
— avec point central	1	22	43	2	—
— sans point central	1	4	25	—	2
Total	2	26	68	2	2

Source : W. BUNGE, *Patterns of Location*, 1964, p. 35.

Les résultats de cette expérience sont présentés sur le tableau 10.11, où chaque forme obtenue est rattachée à la figure géométrique dont elle se rapproche le plus; les polygones sont tous pris en compte, qu'ils aient ou non un point central. La prédominance de la forme hexagonale ressort nettement de ce tableau. Près de la moitié des épreuves ont pour résultat une forme semblable à celle du modèle de Christaller et Lösch : un hexagone avec un point central; de plus, un quart des épreuves ont pour résultat une forme hexagonale sans point central. Ensemble, hexagones et pentagones représentent 94 % des épreuves.

Il est évidemment possible d'améliorer ce type d'expérience. Flemming (1964, communication personnelle) a suggéré la possibilité de remplacer les aimants par des boules positivement chargées, et d'introduire dans le modèle, en faisant varier les charges, des différences de taille et d'espacement. En modifiant la pente et la forme de la surface sur laquelle les boules se déplacent, il serait possible en outre d'étudier le concept de « résistance » du milieu local.

Les méthodes de simulation de Monte-Carlo

Nous avons déjà vu, à propos du modèle d'ondes de diffusion de Neyman et Scott et des idées de Hägerstrand sur l'évolution du peuplement (*cf.* pp. 68-72 et 110-115), comment il est possible de simuler des répartitions géographiques à l'aide de processus aléatoires. Garrison (1962, pp. 91-108) a exposé l'apport de ces méthodes à la prévision de la croissance urbaine. Kansky (1963, pp. 128-147) a utilisé à la fois des processus aléatoires et la théorie des graphes (*cf.* pp. 266-269) pour prévoir (ou, comme dirait Kansky, post-voir) le plan du réseau ferroviaire de la Sicile en 1908; pour cela, il a fait entrer dans son raisonnement les résultats généraux de ses recherches sur la géométrie des réseaux et les données, valables pour 1908, sur la

population et les revenus des treize villes principales de Sicile. De la comparaison du réseau prévu (fig. 10.12 A) et du réseau existant réellement en 1908 (fig. 10.12 B), il ressort que ce type de modèle de simulation commence à donner des résultats encourageants.

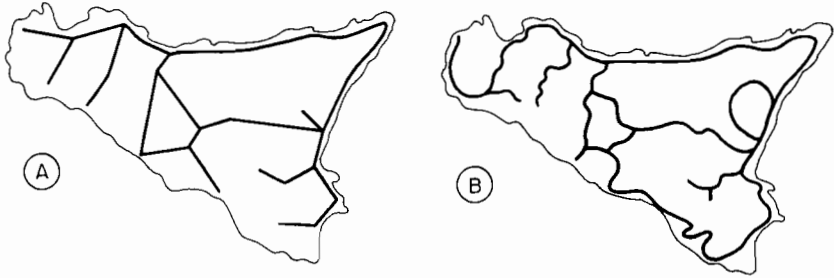


Fig. 10.12 — Réseaux ferroviaires de la Sicile en 1908 : réseau obtenu par simulation (A) et réseau réel (B) ($G = 4,3$).

Source : KANSKY, 1963, pp. 143, 146.

L'utilisation la plus ambitieuse des modèles stochastiques est peut-être l'application faite par Morrill (1963) à l'étude de la croissance des villes de la région de Värnamo, dans le Sud de la Suède. Dans cette région en majeure partie forestière dont la population, actuellement, atteint à peu près 250 000 habitants, avec une densité d'environ 50 habitants par mile carré, le développement industriel, commencé vers 1865, est resté lent jusqu'en 1880. Morrill retrace la croissance démographique de la région depuis 1860 d'après les données des recensements de 155 paroisses locales. Il essaie ensuite de simuler cette croissance démographique et de prévoir la répartition future de la population à l'aide des méthodes de Monte-Carlo (Hägerstrand, *in* Centre international d'étude des problèmes humains, 1963, pp. 61-84).

Le modèle de Morrill définit une série de cycles de vingt ans, qui couvrent la période de 1860 à 1980. Chaque cycle de simulation comprend six phases : 1° la répartition de base (la situation en 1860, dans le cas du premier cycle) qui est connue en ce qui concerne la population, les voies de communication, les industries, etc.; 2° l'attribution de nouvelles voies de transport; 3° l'attribution d'activités non localisées dans les places centrales (par exemple des industries); 4° l'attribution d'activités localisées dans les places centrales; 5° l'attribution des gens qui migrent d'un secteur à l'autre; 6° la situation à la fin du cycle (qui devient le point de départ du cycle suivant).

Chaque phase du cycle est marquée par l'« attribution », soit de voies de communication, soit d'activités, soit d'habitants. La façon dont ces attributions se font en pratique peut être illustrée par l'exemple de la cinquième phase : attribution de migrants. Morrill suppose que la propension à émigrer, c'est-à-dire le nombre théorique des gens qui migrent à partir de chaque secteur, est fonction de la taille et des caractères de la population de ce secteur (conditions de l'emploi, structure par âges,

etc.). La probabilité de migration d'un secteur à l'autre est considérée comme fonction de la distance entre ces deux secteurs, de la différence d'attrait des deux secteurs, et de l'histoire des contacts précédemment établis par migration. L'attrait relatif est introduit dans le modèle sur la base des occasions d'emploi qui sont supposées créées par les activités attribuées au cours des phases précédentes de la simulation. La possibilité qu'a un migrant donné de suivre une direction particulière est supposée être fonction inverse de la distance, la distance constituant un obstacle plus ou moins surmontable selon le niveau de la technologie des transports et selon la composition de la population (urbains, ruraux).

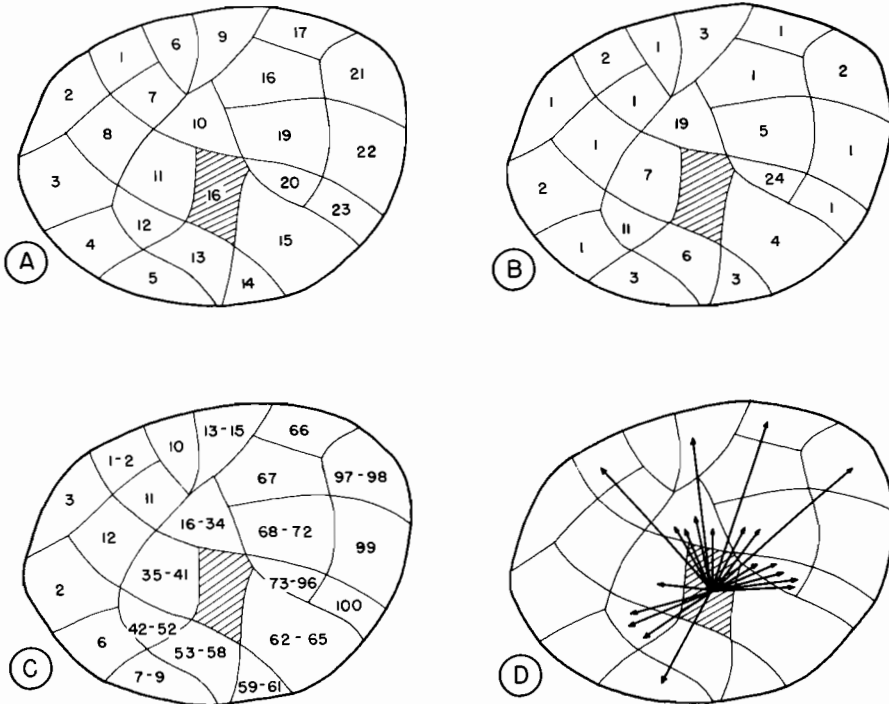


Fig. 10.13 — Étapes de l'attribution de migrants à différents secteurs, par la méthode de Monte-Carlo.

Source : MORRILL, 1963, p. 13.

La figure 10.13 décrit le processus de migration à partir d'un secteur, représenté en grisé, vers les autres. D'abord, l'attrait relatif de chacun des vingt-trois secteurs de la région est pondéré d'après son potentiel de « probabilité de migration ». Les valeurs obtenues s'étendent de 24 (centre industriel accessible) à 1 (secteur éloigné et d'accès difficile) (fig. 10.13 B). Ces valeurs sont additionnées et transformées de façon que leur total soit égal à 100. Sur la base des valeurs ainsi obtenues, qui sont des « chances », une série de numéros dont la longueur est égale à ces chances est affectée à chaque secteur (fig. 10.13 C). Le nombre des gens qui émigrent du secteur

considéré est alors choisi; il est égal à 20 dans l'ensemble présenté ici; 20 nombres compris entre 1 et 100 sont tirés d'une table de nombres au hasard. Chacun d'eux correspond à un numéro qui figure dans l'un des secteurs; les destinations des migrants sont ainsi déterminées. La figure 10.13 D présente les migrations ainsi définies.

La répétition de ce processus secteur par secteur permet de déterminer les gains nets ou les pertes nettes, et d'en déduire les tendances de l'évolution de la population dues aux migrations. En faisant la somme des résultats des activités qui ont été attribuées aux secteurs, et de ces modifications par migration, on peut calculer l'évolution globale de la répartition de la population pendant une période donnée. La nouvelle répartition devient la base d'un nouveau cycle de simulation correspondant à la période suivante, et ainsi de suite.

La méthode employée par Morrill pour simuler l'évolution de la population présente des avantages et des inconvénients. Les avantages que sont la grande souplesse de la méthode et sa simplicité mathématique la rendent particulièrement intéressante pour aborder des problèmes dont la solution n'est pas unique, mais comporte un grand nombre de réponses possibles (par exemple : à quelle distance de leur foyer d'origine les migrants iront-ils?). En attribuant des probabilités aux diverses options possibles — on sait par exemple que des localisations proches ont plus de chances d'être choisies que des localisations très lointaines —, on peut déterminer le choix final par un procédé de sondage employant les nombres au hasard. Puisque le choix d'une localisation dépend en définitive de décisions préalables (qui sont prises en compte par la « probabilité de migration ») l'événement aléatoire est lié à toute l'histoire des décisions.

Un inconvénient de cette méthode — il ne s'agit probablement que d'un frein temporaire — est le volume de calculs nécessaires. Morrill, dans son étude, distingue 155 secteurs, d'où $155 \times 155 \approx 24\,000$ tracés de migrations possibles et autant de probabilités, qu'il faut entièrement recalculer pour chaque cycle de simulation. En définitive, la solution est évidemment le traitement par ordinateur, avec un programme englobant l'ensemble du processus de simulation.

Leopold et Langbein (1962) ont montré comment l'emploi de procédés aléatoires permet de construire des hiérarchies régulières d'unités spatiales de tailles différentes : ainsi, les mouvements aléatoires de particules d'eau (fig. 10.14 A) peuvent conduire à la définition d'une hiérarchie régulière de captures (fig. 10.14 B). Ce modèle simule des réseaux hydrographiques, mais il est clair que des modèles semblables pourraient être appliqués à la géographie humaine, à propos des aires commerciales, des divisions administratives, etc. De même, il serait sans doute possible d'adapter des modèles de promenades aléatoires (fig. 10.14 C) au développement des itinéraires autour des centres. En introduisant dans ce modèle une composante, la gravité, Leopold et Langbein ont pu obtenir d'assez bonnes simulations de réseaux hydrographiques (fig. 10.14 D); en y faisant entrer une autre composante, la force centrifuge, il serait de même possible de simuler le développement de réseaux de voies de communication autour de centres.

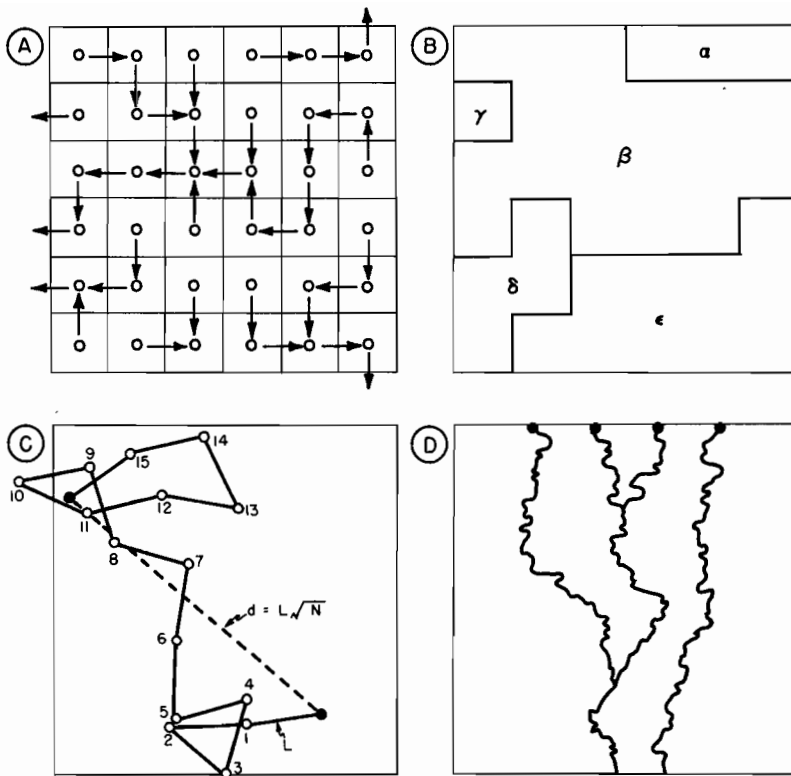


Fig. 10.14 — A. Grille montrant l'établissement de liaisons entre des centres par orientation aléatoire. — B. Division de l'espace qui en résulte. — C. Promenade aléatoire comportant seize pas. — D. Application d'un modèle de trajet aléatoire à l'évolution d'un réseau.

Sources : LEOPOLD et LANGBEIN, 1962, pp. 16, 18; KRUMBEIN, 1955-B, p. 10.

La simulation logique : les systèmes semi-axiomatiques

Personne n'a encore essayé de fonder une partie quelconque de la géographie sur un ensemble d'axiomes desquels tout pourrait être déduit logiquement. Il est cependant des périodes, dans l'histoire de toutes les branches de la connaissance, où le désir d'axiomatiser domine : « lorsqu'un effort est fait pour coordonner et codifier ce qui est déjà connu, pour mettre en ordre les fragments détachés et pour écarter ce qui est sans importance ou de valeur douteuse » (Fletcher, 1964, p. 181). La seconde moitié du xx^e siècle sera probablement, pour la géographie, une de ces périodes d'inventaire, au cours de laquelle les modèles seront révisés et généralisés.

L'axiomatique a pour objet la déduction rigoureuse d'une série de résultats à partir de quelques axiomes (ou hypothèses de travail) en nombre minimal. Elle se relie directement à la fois à la logique et aux mathématiques par l'algèbre de Boole

et l'algèbre des ensembles; nous avons déjà découvert quelques aspects de son emploi à propos de la nature de la géographie (chap. 1, section 2) et de la structure régionale (chap. 9, section 1). On peut définir l'axiomatique, de façon simple et pratique, par l'expression *calcul des propositions*, qui résume l'union essentielle entre d'une part les propositions qui découlent des résultats empiriques, d'autre part le traitement de ces propositions par la logique mathématique. La question reste posée de savoir dans quelle mesure la géographie peut répondre aux exigences d'un système axiomatique (tel que le définissent les logiciens); mais il est certain que les géographes peuvent orienter leur travail en ce sens.

Kansky (1963, pp. 122-127) a, dans son étude sur les réseaux de transport, ouvert la voie à un système semi-axiomatique valable pour la géographie humaine. Son analyse comporte trois phases : définition rigoureuse de huit *termes* définissant les composantes du système; énoncé de neuf *axiomes* en partie démontrés par des résultats empiriques; déduction de quatre *tendances* de localisation, à partir des axiomes. Ainsi, dans la première phase, le terme *réseau* est défini : « union de toutes les voies de transport E_i », et symbolisé par l'expression algébrique :

$$N = \text{df. } \cup E_i$$

Dans la deuxième phase, Kansky a pu condenser son septième axiome (« Quand le réseau N_i se développe dans le réseau N_j , la longueur métrique des arêtes de N_j (E_j) tend à être plus courte que la longueur métrique des arêtes de N_i (E_i) ») en la forme symbolique :

$$(N_i \tau N_j) \supset (E_i > E_j)$$

Langer (1953), dans son livre *An Introduction to Symbolic Logic*, a montré que la réduction du langage à une forme symbolique entraîne rigidité et étrangeté, mais que ceci est compensé, comme dans le cas du langage juridique, par une plus grande précision. A la différence du langage juridique, les symboles peuvent être introduits dans des équations que l'on peut soumettre à un traitement mathématique, afin de rechercher les contradictions éventuelles ou d'obtenir des relations insoupçonnées.

Certes, nous pouvons intuitivement nous défier d'un système qui menace de réduire la phrase « Ophélie aime Hamlet » à $H \leftarrow O$; mais la rigueur de la méthode axiomatique a beaucoup d'attrait. A une époque où la géographie humaine accorde plus d'attention à la mesure et à la quantification, la logique symbolique lui offre l'occasion d'unir cette tendance aux modes de pensée traditionnels fondés sur le sens commun. A long terme, c'est moins sur la complexité des techniques ou la minutie de l'observation que sur la force du raisonnement logique que sera jugée la géographie de notre époque.

Références bibliographiques

- ABRAMSON N. (1963), *Information Theory and Coding*, New York.
- ACKERMAN E. A. (1963), « Where Is a Research Frontier? », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 429-440.
- ACKOFF R. L., GUPTA S. K., MINAS J. S. (1962), *Scientific Method : optimizing applied research decisions*, New York.
- ALEXANDER J. W. (1944), « Freight Rates As a Geographic Factor in Illinois », *Economic Geography*, 20, pp. 25-30.
- ALEXANDER J. W. (1963), *Economic Geography*, New York.
- ALEXANDER J. W., BROWN E. S. et DAHLBERG R. E. (1958), « Freight Rates : selected aspects of uniform and nodal regions », *Economic Geography*, 34, pp. 1-18.
- ALEXANDERSSON G. (1956), *The Industrial Structure of American Cities*, Lincoln, Nebr.
- AMIRAN D. H. K. et SCHICK A. P. (1961), *Geographical Conversion Tables*, Zurich.
- ANDERSON M. (1963), *A Working Bibliography of Mathematical Geography*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Papers, 2.
- ANDERSSON T. (1897), *Den Inre Omflyttningen : Norrland*, Malmö.
- APPLEBAUM W. et COHEN S. B. (1961), « The Dynamics of Store Trading Areas and Market Equilibrium », *Annals of the Association of American Geographers*, 51, pp. 73-101.
- AUERBACH F. (1913), « Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration », *Petermann's Mitteilungen*, 59, pp. 74-76.
- AZEVEDO A. DE, Edit. (1958), *A Cidade de São Paulo : estudos de geografia urbana*, 4 vol., São Paulo.
- BACHI R. (1963), « Standard Distance Measures and Related Methods for Spatial Analysis », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 10, pp. 83-132.
- BACKE H. (1942), *Um die Nahrungsfreiheit Europas*, Leipzig.
- BAILEY N. T. J. (1957), *Mathematical Theory of Epidemics*, New York.
- BAIN J. S. (1954), « Economics of Scale, Concentration, and the Condition of Entry in Twenty Manufacturing Industries », *American Economic Review*, 44, pp. 15-39.
- BAKER O. E. (1921), « Increasing Importance of the Physical Conditions in Determining the Utilization of Land for Agriculture and Forest Production in the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, 11, pp. 17-46.
- BARFORD B. (1938), *Local Economic Effects of a Large-Scale Industrial Undertaking*, Copenhagen.
- BARROWS H. H. (1923), « Geography As Human Ecology », *Annals of the Association of American Geographers*, 13, pp. 1-14.
- BARTHOLOMEW H. (1955), *Land Use in American Cities*, Cambridge.
- BASKIN C. W. (1957), *A Critique and Translation of W. Christaller's « Die zentralen Orte in Süddeutschland »*, University of Virginia, Ph. D. Thesis.
- BECKERMAN W. (1956), « Distance and the Pattern of Intra-European Trade », *Review of Economics and Statistics*, 38, pp. 31-40.
- BECKMANN M. J. (1952), « A Continuous Model of Transportation », *Econometrica*, 20, pp. 643-660.
- BECKMANN M. J. (1955), « Some Reflections on Lösch's Theory of Location », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 1, N1-N9.
- BECKMANN M. J. (1958), « City Hierarchies and the Distribution of City Size », *Economic Development and Cultural Change*, 6, pp. 243-248.
- BEESELY M. (1955), « The Birth and Death of Industrial Establishments : Experience in the West Midlands Conurbation », *Journal of Industrial Economics*, 4, pp. 45-61.
- BERRY B. J. L. (1958), « A Note Concerning Methods of Classification », *Annals of the Association of American Geographers*, 48, pp. 300-303.
- BERRY B. J. L. (1960), « An Inductive Approach to the Regionalization of Economic Development », *University of Chicago, Department of Geography, Research Paper*, 62, pp. 78-107.
- BERRY B. J. L. (1961-A), « City-Size Distributions and Economic Development », *Economic Development and Cultural Change*, 9, pp. 573-588.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERRY B. J. L. (1961-B), « A Method for Deriving Multifactor Uniform Regions », *Przegląd Geograficzny*, 33, pp. 263-282.
- BERRY B. J. L. (1962), *Sampling, Coding, and Storing Flood Plain Data*, United States, Department of Agriculture, Farm Economics Division, Agriculture Handbook, 237.
- BERRY B. J. L. (1967), *Geography of Market Centers and Retail Distribution*, New York.
- BERRY B. J. L., BARNUM H. G. et TENNANT R. J. (1962), « Retail Location and Consumer Behaviour », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 9, pp. 65-106.
- BERRY B. J. L. et GARRISON W. L. (1958-A), « A Note on Central Place Theory and the Range of a Good », *Economic Geography*, 34, pp. 304-311.
- BERRY B. J. L. et GARRISON W. L. (1958-B), « Functional Bases of the Central Place Hierarchy », *Economic Geography*, 34, pp. 145-154.
- BERRY B. J. L. et GARRISON W. L. (1958-C), « Alternate Explanations of Urban Rank Size Relationships », *Annals of the Association of American Geographers*, 48, pp. 83-91.
- BERRY B. J. L. et PRED A. (1961), *Central Place Studies : a Bibliography of Theory and Applications*, Regional Science Research Institute, Bibliographic Series, 1.
- BERRY B. J. L., SIMMONS J. W. et TENNANT R. J. (1963), « Urban Population Densities : Structure and Change », *Geographical Review*, 53, pp. 389-405.
- BERTALANFFY L. Von (1951), « An Outline of General System Theory », *British Journal of the Philosophy of Science*, 1, pp. 134-165.
- BIRCH J. W. (1960), « A Note on the Sample-Farm Survey and its Use As a Basis for Generalized Mapping », *Economic Geography*, 36, pp. 254-259.
- BIRD J. (1956), « Scale in Regional Study : Illustrated by Brief Comparisons between the Western Peninsulas of England and France », *Geography*, 41, pp. 25-38.
- BLUMENSTOCK D. I. (1953), « The Reliability Factor in the Drawing of Isarithms », *Annals of the Association of American Geographers*, 43, pp. 289-304.
- BOARD C. (1962), *The Border Region : Natural Environment and Land Use in the Eastern Cape*, Le Cap.
- BOGUE D. J. (1949), *The Structure of the Metropolitan Community : A Study of Dominance and Subdominance*, Ann Arbor.
- BORCHERT J. R. (1961), « The Twin Cities Urbanized Area : Past, Present and Future », *Geographical Review*, 51, pp. 47-70.
- BOUSTEDT O. et RANZ H. (1957), *Regionale Struktur- und Wirtschaftsforschung*, Brème.
- BOWMAN I. (1916), *The Andes of Southern Peru : Geographical Reconnaissance along the Seventy-Third Meridian*, New York.
- BOWMAN I. (1931), *The Pioneer Fringe*, New York.
- BOX G. E. P. (1954), « The Exploration and Exploitation of Response Surfaces », *Biometrics*, 10, pp. 16-30.
- BOYCE R. B. et CLARK W. A. V. (1964), « The Concept of Shape in Geography », *Geographical Review*, 54, pp. 561-572.
- BRACEY H. E. (1952), *Social Provision in Rural Wiltshire*, Londres.
- BRACEY H. E. (1962), « English Central Villages : Identification, Distribution and Functions », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 169-190.
- BRILLOUIN L. (1964), *Scientific Uncertainty and Information*, New York.
- British Railways Board (1963), *The Reshaping of British Railways*, Londres.
- BROEK J. O. M. (1932), *The Santa Clara Valley, California : A Study in Landscape Changes*, Utrecht.
- BRONOWSKI J. (1960), *The Common Sense of Science*, Londres.
- BROOKS C. E. P. et CARRUTHERS N. (1953), *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, Londres.
- BRUNHES J. (1925), *La Géographie humaine*, 2 vol., Paris.
- BRUSH J. E. (1953), « The Hierarchy of Central Places in Southwestern Wisconsin », *Geographical Review*, 43, pp. 380-402.
- BRUSH J. E. et BRACEY H. E. (1955), « Rural Service Centres in Southwestern Wisconsin and Southern England », *Geographical Review*, 45, pp. 559-569.
- BUCHÉLE C., Jr. (1958), *Atlas Geográfico de Santa Catarina*, Florianopolis.
- BUNGE W. (1962), « Theoretical Geography », *Lund Studies in Geography, Series C, General and Mathematical Geography*, 1.
- BUNGE W. (1964), *Patterns of Location*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Papers, 3.
- BURGESS E. W. (1927), « The Determination of Gradients in the Growth of the City », *American Sociological Society, Publications*, 21, pp. 178-184.

- BURGHARDT A. F. (1959), « The Location of River Towns in the Central Lowland of the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, 49, pp. 305-323.
- BURTON I. (1963-A), « The Quantitative Revolution and Theoretical Geography », *Canadian Geographer*, 7, pp. 151-162.
- BURTON I. (1963-B), « A Restatement of the Dispersed City Hypothesis », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 285-289.
- BUTLER J. B. (1960), *Profit and Purpose in Farming : a study of farms and smallholdings in part of the North Riding*, Leeds.
- BYLUND E. (1960), « Theoretical Considerations Regarding the Distribution of Settlement in Inner North Sweden », *Geografiska Annaler*, 42, pp. 225-231.
- CAESAR A. A. L. (1955), « On the Economic Organization of Eastern Europe », *Geographical Journal*, 121, pp. 451-469.
- CAESAR A. A. L. (1964), « Planning and the Geography of Great Britain », *Advancement of Science*, 21, pp. 230-240.
- CAIN S. A. (1944), *Foundations of Plant Geography*, New York.
- CAPOT-REY R. (1944), *Géographie de la circulation sur les continents*, Paris.
- CARELESS J. S. M. (1954), « Frontierism Metropolitanism and Canadian History », *Canadian Historical Review*, 35, pp. 1-21.
- CARRIÈRE F. et PINCHEMEL P. (1963), *Le Fait urbain en France*, Paris.
- CARROTHERS G. P. (1956), « An Historic Review of the Gravity and Potential Concepts of Human Interaction », *Journal of the American Institute of Planners*, 22, pp. 94-102.
- Centre international d'étude des problèmes humains (1963), *Les Déplacements humains : aspect méthodologique de leur mesure*, Monaco.
- CHAMBERLIN T. C. (1897), « The Method of Multiple Working Hypotheses », *Journal of Geology*, 5, pp. 837-848.
- CHAPIN F. S., Jr., et WEISS S. F., Edit. (1962), *Urban Growth Dynamics in a Regional Cluster of Cities*, New York.
- CHISHOLM M. D. I. (1959), « Economies of Scale in Road Good Transport? Off-Farm Milk Collection in England and Wales », *Oxford Economic Papers*, 11, pp. 282-290.
- CHISHOLM M. D. I. (1960), « The Geography of Commuting », *Annals of the Association of American Geographers*, 50, pp. 187-188, 491-492.
- CHISHOLM M. D. I. (1962), *Rural Settlement and Land Use : An Essay in Location*, Londres.
- CHORLEY R. J. (1962), *Geomorphology and General Systems Theory*, United States, Geological Survey, Professional Paper, 500-B.
- CHORLEY R. J. (1964), « Geography and Analogue Theory », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 127-137.
- CHORLEY R. J. et HAGGETT P., Edit. (1965-A), *Frontiers in Geographical Teaching : The Madingley Lectures for 1963*, Londres.
- CHORLEY R. J. et HAGGETT P. (1965-B), *Trend Surface Mapping in Geographical Research*, Institute of British Geographers, Publications, 37.
- CHORLEY R. J. et HAGGETT P., Edit. (1967), *Models in Geography : The Madingley Lectures for 1965*, Londres.
- CHORLEY R. J., STODDART D. R., HAGGETT P. et SLAYMAKER H. O. (1900), « Regional and Local Components in the Areal Distribution of Surface Sand-Facies in the Breckland, Eastern England », *Journal of Sedimentary Petrology*, 1966, vol. 36, pp. 209 et suiv.
- CHRISTALLER W. (1933), *Die Zentralen Orte in Süddeutschland : Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*, Iéna.
- CHRISTALLER W. (1937), *Die Ländliche Siedlungsweise im Deutschen Reich und ihre Beziehungen zur Gemeindeorganisation*, Berlin.
- CHRISTALLER W. (1938), « Rapports fonctionnels entre les agglomérations urbaines et les campagnes », *Congrès international de Géographie, Comptes Rendus*, 2, pp. 123-138.
- CHRISTALLER W. (1950), « Das Grundgerüst der räumlichen Ordnung in Europa : Die Systeme der europäischen zentralen Orte », *Frankfurter Geographische Hefte*, 11, pp. 5-14.
- CLAESSEN C. F. (1964), « En korologisk publikanalys : framställning av demografiska gravitationsmodeller med tillämpning vid omlandsbestämning på koordinatkarta », *Geografiska Annaler*, 46 (4).
- CLARK C. (1940), *Conditions of Economic Progress*, Londres.
- CLARK C. (1951), « Urban Population Densities », *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 114, pp. 490-496.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLARK P. J. (1956), « Grouping in Spatial Distributions », *Science*, 123, pp. 373-374.
- CLARK P. J. et EVANS F. C. (1954), « Distance to Nearest Neighbour As a Measure of Spatial Relationships in Populations », *Ecology*, 35, pp. 445-453.
- CLAWSON M., HELD R. B. et STODDARD C. H. (1960), *Land for the Future*, Baltimore.
- COCHRAN W. G. (1953), *Sampling Techniques*, New York.
- COCHRAN W. G., MOSTELLER F. et TUKEY J. W. (1954), « Principles of Sampling », *Journal of the American Statistical Association*, 49, pp. 13-35.
- COLWELL R. L., Edit. (1960), *Manual of Photographic Interpretation*, New York.
- COOLEY C. H. (1894), *The Theory of Transportation*, American Economic Association, Publications, 9 (3).
- COPPOCK J. T. (1955), « The Relationship of Farm and Parish Boundaries : A Study in the Use of Agricultural Statistics », *Geographical Studies*, 2, pp. 12-26.
- COPPOCK J. T. (1960), « The Parish As a Geographical-Statistical Unit », *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 51, pp. 317-326.
- COTTERILL C. H. (1950), *Industrial Plant Location : Its Application to Zinc Smelting*, Saint-Louis.
- COURT A. et PORTER P. W. (1964), « The Elusive Point of Minimum Travel », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 400-406.
- COXETER H. S. M. (1961), *Introduction to Geometry*, New York.
- CROWE P. R. (1938), « On Progress in Geography », *Scottish Geographical Magazine*, 54, pp. 1-19.
- CURRY L. (1962), « The Geography of Service Centres within Towns : The Elements of an Operational Approach », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 31-54.
- CURRY L. (1964-A), « The Random Spatial Economy : An Exploration in Settlement Theory », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 138-146.
- CURRY L. (1964-B), « Landscape As System », *Geographical Review*, 54, pp. 121-124.
- DACEY M. F. (1960), « The Spacing of River Towns », *Annals of the Association of American Geographers*, 50, pp. 59-61.
- DACEY M. F. (1962), « Analysis of Central Place and Point Patterns by a Nearest Neighbour Method », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 55-75.
- DACEY M. F. (1964), *Imperfections in the Uniform Plane*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Papers, 4.
- DÄHL S. (1957), « The Contacts of Västerås with the Rest of Sweden », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 13, pp. 206-243.
- DANTZIG G., FULKERSON R. et JOHNSON S. (1954), « Solution of a Large-Scale Travelling-Salesman Problem », *Operations Research*, 2, pp. 215-221.
- DAVID H. A. (1963), *The Method of Paired Comparisons*, Londres.
- DAVIES O. L., Edit. (1956), *The Design and Analysis of Industrial Experiments*, Édimbourg.
- DAVIES O. L., Edit. (1958), *Statistical Methods in Research and Production*, Édimbourg.
- DAVIS D. H. (1926), « Objectives in a Geographic Field Study of a Community », *Annals of the Association of American Geographers*, 16, pp. 102-109.
- DICKINSON G. C. (1963), *Statistical Mapping and the Presentation of Statistics*, Londres.
- DICKINSON R. E. (1964), *City and Region : A Geographical Interpretation*, Londres.
- DUERR W. A. (1960), *Fundamentals of Forestry Economics*, New York.
- DUNCAN O. D., CUZZORT R. P. et DUNCAN B. (1961), *Statistical Geography : Problems of Analyzing Areal Data*, Glencoe.
- DUNN E. S. (1954), *The Location of Agricultural Production*, Gainesville.
- DUNN E. S. (1956), « The Market Potential Concept and the Analysis of Location », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 2, pp. 183-194.
- DURY G., Edit. (1965), *Essays in Geomorphology*, Londres.
- EDMONSON M. S. (1961), « Neolithic Diffusion Rates », *Current Anthropology*, 2, pp. 71-102.
- ENKE S. (1951), « Equilibrium among Spatially Separated Markets : Solution by Electric Analogue », *Econometrica*, 19, pp. 40-47.
- EZEKIEL M. et FOX K. A. (1959), *Methods of Correlation and Regression Analysis : Linear and Curvilinear*, New York.
- FARMER B. H. (1957), *Pioneer Peasant Colonization in Ceylon*, Londres.
- FENNEMANN N. M. (1916), « Physiographic Divisions of the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, 6, pp. 19-98.
- FISHER J. L. (1955), « Concepts in Regional Economic Development », *Regional Science Association, Papers*, 1, W1-W20.

- FISHER R. A. et YATES F. (1957), *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, Edimbourg.
- FLETCHER T. J., Edit. (1964), *Some Lessons in Mathematics : A Handbook on the Teaching of « Modern » Mathematics*, Cambridge.
- FLOOD M. M. (1956), « The Travelling Salesman Problem », *Journal of the Operations Research Society of America*, 4, pp. 61-75.
- FLORENCE P. S. (1944), « The Selection of Industries Suitable for Dispersal into Rural Areas », *Journal of the Royal Statistical Society*, 107, pp. 93-116.
- FLORENCE P. S. (1953), *The Logic of British and American Industry*, Londres.
- FOGEL R. W. (1964), *Railroads and American Economic Growth : Essays in Econometric History*, Baltimore.
- FOLGER J. (1953), « Some Aspects of Migration in the Tennessee Valley », *American Sociological Review*, 18, pp. 253-260.
- FORGOTSON J. M. (1960), « Review and Classification of Quantitative Mapping Techniques », *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 44, pp. 83-100.
- FOX J. W. (1956), « Land-Use Survey : General Principles and a New Zealand Example », *Auckland University College, Bulletin*, 49.
- FRIEDRICH C. J. (1929), *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries*, Chicago.
- GARRISON, W. L. (1956), « Applicability of Statistical Inference to Geographical Research », *Geographical Review*, 46, pp. 427-429.
- GARRISON W. L. (1959-1960), « Spatial Structure of the Economy », *Annals of the Association of American Geographers*, 49, pp. 232-239, 471-482; 50, pp. 357-373.
- GARRISON W. L. (1960), « Connectivity of the Interstate Highway System », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 6, pp. 121-137.
- GARRISON W. L. (1962), « Towards Simulation Models of Urban Growth and Development », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 91-108.
- GARRISON W. L., Edit. (1967), *Quantitative Geography*, Evanston.
- GARRISON W. L., BERRY B. J. L., MARBLE D. F., NYSTUEN J. D. et MORRILL R. L. (1959), *Studies of Highway Development and Geographic Change*, Seattle.
- GEER S. de (1923), « On the Definition, Method and Classification of Geography », *Geografiska Annaler*, 5, pp. 1-37.
- GETIS A. (1963), « The Determination of the Location of Retail Activities with the Use of a Map Transformation », *Economic Geography*, 39, pp. 1-22.
- GIBBS J. P. Edit. (1961), *Urban Research Methods*, New York.
- GINSBURG N. (1961), *Atlas of Economic Development*, Chicago.
- GODLUND S. (1956), « Bus Service in Sweden », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 17.
- GODLUND S. (1961), « Population, Regional Hospitals, Transport Facilities and Regions : Planning the Location of Regional Hospitals in Sweden », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 21.
- GOLDTHWAIT J. W. (1927), « A Town That Has Gone Downhill », *Geographical Review*, 17, pp. 527-552.
- GOODRICH C. (1936), *Migration and Economic Opportunity*, Philadelphie.
- GOTTMANN J. (1961), *Megalopolis : The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*, New York.
- GOULD P. R. (1960), « The Development of the Transportation Pattern in Ghana », *Northwestern University, Studies in Geography*, 5.
- GOULD P. R. (1963), « Man against his Environment : A Game-Theoretic Framework », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 290-297.
- GRADMANN R. (1931), *Süddeutschland*, Stuttgart.
- GREEN F. H. W. (1950), « Urban Hinterlands in England and Wales : An Analysis of Bus Services », *Geographical Journal*, 96, pp. 64-88.
- GREEN H. L. (1955), « Hinterland Boundaries of New York City and Boston in Southern New England », *Economic Geography*, 31, pp. 283-300.
- GREENHUT M. L. (1956), *Plant Location in Theory and Practice : the Economics of Space*, Chapel Hill.
- GREGOR H. F. (1962), « Agricultural Region and Statistical Region : A Dilemma in California Geography », *California Geographer*, 3, pp. 27-31.
- GREGORY S. (1963), *Statistical Methods and the Geographer*, Londres.
- GREIG-SMITH P. (1964), *Quantitative Plant Ecology*, Londres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GROTEWALD A. (1959), « Von Thünen in Retrospect », *Economic Geography*, 35, pp. 346-355.
- GRYTZELL K. G. (1963), « The Demarcation of Comparable City Areas by Means of Population Density », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 25.
- GULLEY J. L. M. (1959), « The Turnerian Frontier : A Study in the Migration of Ideas », *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 50, pp. 65-72, 81-91.
- GUNAWARDENA K. A. (1964), *Service Centres in Southern Ceylon*, University of Cambridge, Ph. D. Thesis.
- HÄGERSTRAND T. (1952), « The Propagation of Innovation Waves », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 4, pp. 3-19.
- HÄGERSTRAND T. (1953), *Innovationsforloppet ur korologisk synpunkt*, Lund.
- HÄGERSTRAND T. (1955), « Statistiska primäruppgifter, flykartering och data processing maskiner », *Meddelanden Frans Lunds Geografiska Institut*, 344, pp. 233-255.
- HÄGERSTRAND T. (1957), « Migration and Area : survey of a sample of Swedish migration fields and hypothetical considerations on their genesis », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 13, pp. 27-158.
- HAGGETT P. (1959), *Locational, Dimensional and Cost-Ratio Variables in Portuguese Industry : A Matrix Analysis*, Miméo.
- HAGGETT P. (1961-A), « Land Use and Sediment Yield in an Old Plantation Tract of the Serra do Mar, Brazil », *Geographical Journal*, 127, pp. 50-62.
- HAGGETT P. (1961-B), *Multilevel Variance Analysis of Sobreiro Distribution in the Tagus-Sado Basin, Central Portugal*, Miméo.
- HAGGETT P. (1963), « Regional and Local Components in Land-Use Sampling : A Case Study from the Brazilian Triangulo », *Erdkunde*, 17, pp. 108-114.
- HAGGETT P. (1964), « Regional and Local Components in the Distribution of Forested Areas in Southeast Brazil : A Multivariate Approach », *Geographical Journal*, 130, pp. 365-380.
- HAGGETT P. et BOARD C. (1964), « Rotational and Parallel Traverses in the Rapid Integration of Geographic Areas », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 406-410.
- HAGGETT P. et CHORLEY R. J. (1968) *Network Models in Geography : An Integrated Approach*, Londres.
- HAGGETT P., CHORLEY R. J. et STODDART D. R. (1965), « Scale Standards in Geographical Research : A New Measure of Area Magnitude », *Nature*, 205, pp. 844-847.
- HAGGETT P. et GUNAWARDENA K. A. (1964), « Determination of Population Thresholds for Settlement Functions by the Reed-Muench Method », *Professional Geographer*, 16, pp. 6-9.
- HAGOOD M. J. (1943), « Statistical Methods for Delineation of Regions Applied to Data on Agriculture and Population », *Social Forces*, 21, pp. 288-297.
- HAGOOD M. J. et PRICE D. O. (1952), *Statistics for Sociologists*, New York.
- HALL A. D. et FAGEN R. E. (1956), « Definition of System », *General Systems Yearbook*, 1, pp. 18-28.
- HALL P. (1962), *The Industries of London Since 1861*, Londres.
- HANNERBERG D., HÄGERSTRAND T. et ODEVING B. (1957), « Migration in Sweden : A Symposium », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 13.
- HANSON N. R. (1958), *Patterns of Discovery*, Cambridge.
- HARARY F. et NORMAN R. Z. (1953), *Graph Theory As a Mathematical Model in Social Science*, Ann Arbor.
- HARDY T. (1886), *The Life and Death of the Mayor of Casterbridge*, Londres.
- HARMAN H. H. (1960), *Modern Factor Analysis*, Chicago.
- HARRIS C. D. (1954), « The Market As a Factor in the Localization of Industry in the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, 44, pp. 315-348.
- HARRIS C. D. et ULLMANN E. L. (1945), « The Nature of Cities », *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 242, pp. 7-17.
- HART J. F. (1954), « Central Tendency in Areal Distributions », *Economic Geography*, 30, pp. 48-59.
- HARTSHORNE R. (1939), *The Nature of Geography : A Critical Survey of Current Thought in the Light of the Past*, Lancaster.
- HARTSHORNE R. (1959), *Perspective on the Nature of Geography*, Londres.
- HAWLEY A. H. (1950), *Human Ecology*, New York.
- HELVIG M. (1964), « Chicago's External Truck Movements : Spatial Interactions between the Chicago Area and Its Hinterland », *University of Chicago, Department of Geography, Research Paper*, 90.
- HIDORE J. J. (1963), « The Relations between Cash-Grain Farming and Landforms », *Economic Geography*, 39, pp. 84-89.

- HIGHSMITH R. M., HEINTZELMAN O. H., JENSEN J. G., RUDD R. D. et TSCHIRLEY P. R. (1961), *Case Studies in World Geography*, New York.
- HOLLOWAY J. L., Jr. (1958), « Smoothing and Filtering of Time Series and Space Fields », *Advances in Geophysics*, 4, pp. 351-389.
- HOOVER E. M. (1936), « The Measurement of Industrial Localization », *Review of Economics and Statistics*, 18, pp. 162-171.
- HOOVER E. M. (1948), *The Location of Economic Activity*, New York.
- HORTON R. E. (1945), « Erosional Development of Streams and their Drainage Basins : Hydro-physical Approach to Quantitative Morphology », *Geological Society of America, Bulletin*, 56, pp. 275-370.
- HOSKINS W. G. (1955), *The Making of the English Landscape*, Londres.
- HOTELLING H. (1921), *A Mathematical Theory of Migration*, University of Washington, M. A. Thesis.
- HOUSE J. W. (1953), « Medium Sized Towns in the Urban Pattern of Two Industrial Societies : England and Wales—U.S.A. », *Planning Outlook*, 3, pp. 52-79.
- HOUSTON J. M. (1953), *Social Geography of Europe*, Londres.
- HOWARD E. (1920), *Territory in Bird Life*, Londres.
- HOWE G. M. (1963), *National Atlas of Disease Mortality in the United Kingdom*, Londres.
- HOYT H. (1939), *The Structure and Growth of Residential Neighbourhoods in American Cities*, Washington.
- HUFF D. L. (1960), « A Topographic Model of Consumer Space Preferences », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 6, pp. 159-173.
- International Geographical Union (1964), *Abstracts of Papers 20th International Geographical Congress*, Londres.
- International Urban Research (1959), *The World's Metropolitan Areas*, Berkeley.
- ISARD W. (1956), *Location and Space-Economy : a general theory relating to industrial location, market areas, land use, trade and urban structure*, New York.
- ISARD W., BRAMHALL D. F., CARROTHERS G. A. P., CUMBERLAND J. H., MOSES L. N., PRICE D. O., et SCHOOLER E. W. (1960), *Methods of Regional Analysis : An Introduction to Regional Science*, New York.
- ISARD W. et KUENNE R. E. (1953), « The Impact of Steel upon the Greater New York-Philadelphia Industrial Region : A Study in Agglomeration Projection », *Review of Economics and Statistics*, 35, pp. 289-301.
- ISARD W. et SCHOOLER E. W. (1955), *Location Factors in the Petrochemical Industry*, Washington.
- ISELL E. C. (1944), « Internal Migration in Sweden and Intervening Opportunities », *American Sociological Review*, 9, pp. 627-639.
- JAMES P. E. (1959), *Latin America*, New York.
- JAMES P. E., JONES C. F. et WRIGHT J. K., Edit. (1954), *American Geography : Inventory and Prospect*, Syracuse.
- JEFFERS J. N. R. (1959), *Experimental Design and Analysis in Forest Research*, Stockholm.
- JENKS G. F. (1963), « Generalization in Statistical Mapping », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 15-26.
- JENKS G. F. et COULSON M. R. C. (1963), « Class Intervals for Statistical Maps », *International Yearbook of Cartography*, 3, pp. 119-134.
- JENSEN M., Edit. (1951), *Regionalism in America*, Madison.
- JOERG W. L. G., Edit. (1932), *Pioneer Settlement*, New York.
- JOHNSON B. L. C. (1958), « The Distribution of Factory Population in the West Midlands Conurbations », *Institute of British Geographers, Publications*, 25, pp. 209-223.
- JOHNSON H. B. (1941), « The Distribution of German Pioneer Population in Minnesota », *Rural Sociology*, 6, pp. 16-34.
- JOHNSON H. B. (1957), « Rational and Ecological Aspects of the Quarter Section : An Example from Minnesota », *Geographical Review*, 47, pp. 330-348.
- JOHNSON H. B. (1962), « A Note on Thünen's Circles », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, pp. 213-220.
- JOHNSON W. W. (1892), *The Theory of Errors and Method of Least Squares*, New York.
- JOHNSON O. H. (1952), « En stads flyttnings- och födelseortsfält », *Svensk Geografiska Arsbok*, 28, pp. 115-122.
- JONASSON O. (1925), « Agricultural Regions of Europe », *Economic Geography*, 3, pp. 277-314.
- JONES E. (1960), *A Social Geography of Belfast*, Londres.
- JONES E. (1964), *Human Geography*, Londres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- KAIN J. F. (1962), « The Journey-to-Work As a Determinant of Residential Location », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 9, pp. 137-159.
- KANSKY K. J. (1963), *Structure of Transport Networks : Relationships between Network Geometry and Regional Characteristics*, University of Chicago, Department of Geography, Research Papers, 84.
- KANT E. (1946), « Den inre omflyttningen i Estland i samband med de estniska städernas omland », *Svensk Geografiska Arsbok*, 22, pp. 83-124.
- KAO R. C. (1963), « The Use of Computers in the Processing and Analysis of Geographic Information », *Geographical Review*, 53, pp. 530-547.
- KARIEL H. G. (1963), « Selected Factors Areally Associated with Population Growth Due to Net Migration », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 210-223.
- KATES R. W. (1962), *Hazard and Choice Perception in Flood Plain Management*, University of Chicago, Department of Geography, Research Papers, 78.
- KENDALL M. G. (1960), *New Prospects in Economic Analysis*, Stamp Memorial Lecture, 1960.
- KENDALL M. G. et BUCKLAND W. R. (1957), *A Dictionary of Statistical Terms*, Edimbourg.
- KERSHAW K. A. (1964), *Quantitative and Dynamic Ecology*, Londres.
- KING L. J. (1961), « A Multivariate Analysis of the Spacing of Urban Settlements in the United States », *Annals of the Association of American Geographers*, 51, pp. 222-233.
- KING L. J. (1962), « A Quantitative Expression of the Pattern of Urban Settlements in Selected Areas of the United States », *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 53, pp. 1-7.
- KLAASEN L. H., VAN D. TORMAN D. H. et KOYCK L. M. (1949), *Hoodfliinen van de sociaal-economische ontwikkeling der gemeente Amerstoort van 1900-1970*, Leyde.
- KOLLMORGEN W. M. et JENKS G. F. (1951), « A Geographic Study of Population and Settlement Changes in Sherman County, Kansas », *Kansas Academy of Sciences, Transactions*, 54, pp. 449-494.
- KOLLMORGEN W. M. et JENKS G. F. (1958), « Suitcase Farming in Sully County, South Dakota », *Annals of the Association of American Geographers*, 48, pp. 27-40.
- KOPEC R. J. (1963), « An Alternative Method for the Construction of Thiessen Polygons », *Professional Geographer*, 15 (5), pp. 24-26.
- KÖSTLER J. (1956), *Silviculture*, Edimbourg.
- KRUMBEIN W. C. (1941), « Measurement and Geologic Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles », *Journal of Sedimentary Petrology*, 11, pp. 64-72.
- KRUMBEIN W. C. (1953), « Latin Square Experiments in Sedimentary Petrology », *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, pp. 280-283.
- KRUMBEIN W. C. (1955-A), « Composite End-Members in Facies Mapping », *Journal of Sedimentary Petrology*, 25, pp. 115-122.
- KRUMBEIN W. C. (1955-B), « Experimental Design in the Earth Sciences », *Transactions of the American Geophysical Union*, 36, pp. 1-11.
- KRUMBEIN W. C. (1956), « Regional and Local Components in Facies Maps », *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 40, pp. 2163-2194.
- KRUMBEIN W. C. (1957), « Comparison of Percentage and Ratio Data in Facies Mapping », *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, pp. 293-297.
- KRUMBEIN W. C. (1959-A), « The 'Sorting Out' of Geological Variables Illustrated by Regression Analysis of the Factors Controlling Beach Firmness », *Journal of Sedimentary Petrology*, 29, pp. 575-587.
- KRUMBEIN W. C. (1959-B), « Trend Surface Analysis of Contour-Type Maps with Irregular Control Point Spacing », *Journal of Geophysical Research*, 64, pp. 823-834.
- KRUMBEIN W. C. (1960), « The Geological 'Population' As a Framework for Analysing Numerical Data in Geology », *Liverpool and Manchester Geological Journal*, 2, pp. 341-368.
- KRUMBEIN W. C. et SLACK H. A. (1956), « Statistical Analysis of Low-Level Radio-Activity of Pennsylvania Black Fissile Shale in Illinois », *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, pp. 739-762.
- KULLDORFF G. (1955), « Migration Probabilities », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 14.
- LALANNE L. (1863), « Essai d'une théorie des réseaux de chemin de fer, fondée sur l'observation des faits et sur les lois primordiales qui président au groupement des populations », *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 42, pp. 206-210.
- LANGBEIN W. B. et HOYT W. G. (1959), *Water Facts for the Nation's Future : Uses and Benefits of Hydrological Data Problems*, New York.

- LANGER S. K. (1953), *An Introduction to Symbolic Logic*, New York.
- LATHAM J. P. (1962), *Methodology for Instrumented Geographic Analysis*, Office of Naval Research, Contract NONR 3004(01), Technical Report, 2.
- LEARMONTH A. T. A. et PAL M. N. (1959), « A Method of Plotting Two Variables on the Same Map, Using Isoleths », *Erkundung*, 13, pp. 145-150.
- LEOPOLD L. B. et LANGBEIN W. B. (1962), *The Concept of Entropy in Landscape Evolution*, United States, Geological Survey, Professional Papers, 500-A.
- LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G. et MILLER J. P. (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco.
- LINDBERGH O. (1953), « An Economic Geographic Study of the Swedish Paper Industry », *Geografiska Annaler*, 35, pp. 28-40.
- LINTON D. L. (1949), « The Delimitation of Morphological Regions », *Institute of British Geographers. Publications*, 14, pp. 86-87.
- LOPIK J. R. van (1962), « Optimum Utilization of Airborne Sensors in Military Geography », *Photogrammetric Engineering*, 28, pp. 773-778.
- LÖSCH A. (1938), « The Nature of Economic Regions », *Southern Economic Journal*, 5, pp. 71-78.
- LÖSCH A. (1940), *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*, Iéna.
- LÖSCH A. (1954), *The Economics of Location*, New Haven.
- LUTTRELL W. F. (1962), *Factory Location and Industrial Movement*, Londres.
- MCCARTY H. H. (1956), « Use of Certain Statistical Procedures in Geographical Analysis », *Annals of the Association of American Geographers*, 46, p. 263.
- MCCARTY H. H., HOOK J. C. et KNOS D. S., (1956), *The Measurement of Association in Industrial Geography*, State University of Iowa, Department of Geography, Report, 1.
- MCCASKILL M., Edit. (1962), *Land and Livelihood : Geographical Essays in Honour of George Jobberns*, Christchurch.
- MACH E. (1942), *The Science of Mechanics*, La Salle, Illinois.
- MACKAY J. R. (1953), « The Alternative Choice in Isoleth Interpolation », *Professional Geographer*, 5, pp. 2-4.
- MACKAY J. R. (1958-A), « The Interactance Hypothesis and Boundaries in Canada », *Canadian Geographer*, 11, pp. 1-8.
- MACKAY J. R. (1958-B), « Chi-Square As a Tool for Regional Studies », *Annals of the Association of American Geographers*, 48, p. 164.
- MCKENZIE, R. D. (1933), *The Metropolitan Community*, New York.
- MACKINDER H. J. (1904), « The Geographical Pivot of History », *Geographical Journal*, 23, pp. 421-437.
- MCLAUGHLIN G. E. et ROBOCK S. (1949), *Why Industry Moves South*, Kingsport.
- MAHALANOBIS P. C., RAO C. R. et MAJUMDAR D. M. (1949), « Anthropometric Survey of the United Provinces, 1941 : A Statistical Study », *Sankhya*, 9, pp. 89-324.
- MARCH J. G. et SIMON H. A. (1958), *Organizations*, New York.
- MARSH G. P. (1864), *Man and Nature ; or Physical Geography As Modified by Human Action*, New York.
- MARTHE F. (1878), « Begriff, Ziel und Methode der Geographie », *Geographisches Jahrbuch*, 7, p. 628.
- MAYFIELD R. C. (1962), « Conformation of Service and Retail Activities : An Example in Lower Orders of an Urban Hierarchy, in a Lesser Developed Area », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 77-90.
- MEAD W. R. (1953), *Farming in Finland*, Londres.
- MEAD W. R. et BROWN E. H. (1962), *The United States and Canada*, Londres.
- MEING D. W. (1962), « A Comparative Historical Geography of Two Railnets : Columbia Basin and South Australia », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, p. 394-413.
- MEITZEN A. (1895), *Siedlung und Agrarwesen der Westgermanen und Ostgermanen des Kelten, Römer, Finen und Slawen*, 3 vol., 1 atlas, Berlin.
- MELTON M. A. (1960), « Intravalley Variation in Slope Angles Related to Microclimate and Erosional Environment », *Bulletin of the Geological Society of America*, 71, pp. 133-144.
- MEYER J. (1963), « Regional Economics : A Survey », *American Economic Review*, 53, pp. 19-54.
- MEYNEN E. (1960), *Orbis Geographicus, 1960*, Wiesbaden.
- MIEHLE W. (1958), « Link-Length Minimization in Networks », *Operations Research*, 6, pp. 232-243.
- MIKESSELL M. W. (1960), « Comparative Studies in Frontier History », *Annals of the Association of American Geographers*, 50, pp. 62-74.
- MILL J. S. (1874), *A System of Logic*, Londres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MILLER A. A. (1949), « The Dissection and Analysis of Maps », *Institute of British Geographers, Publications*, 14, pp. 1-13.
- MILLER R. L. et KAHN R. S. (1962), *Statistical Analysis in the Geological Sciences*, New York.
- Ministère du Transport (1961), *Rural Bus Services : Report of the Committee*, Londres.
- Ministère du Transport (1953), *Traffic in Towns : A Study of the Long Term Problems of Traffic in Urban Areas*, Londres.
- MITCHELL J. B. (1954), *Historical Geography*, Londres.
- MONBEIG P. (1952), *Pionniers et planteurs de São Paulo*, Paris.
- MORGENSTERN O. (1963), *On the Accuracy of Economic Observations*, Princeton.
- MORRILL R. L. (1962), « Simulation of Central Place Patterns Over Time », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 109-120.
- MORRILL R. L. (1963), « The Development and Spatial Distribution of Towns in Sweden : An Historical-Predictive Approach », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 1-14.
- MOSER C. A. et SCOTT W. (1961), *British Towns : A Statistical Study of their Social and Economic Differences*, Édimbourg.
- MURRAY M. (1962), « The Geography of Death in England and Wales », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, pp. 130-149.
- MUTH R. F. (1961), « Economic Change and Rural-Urban Land Use Conversions », *Econometrica*, 29, pp. 1-23.
- MUTH R. F. (1962), « The Spatial Structure of the Housing Market », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 7, pp. 207-220.
- NETTLETON L. L. (1954), « Regionals, Residuals, and Structures », *Geophysics*, 19, pp. 1-22.
- NEUMANN J. von et MORGENSTERN O. (1944), *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton.
- NEYMAN J. et SCOTT E. L. (1957), « On a Mathematical Theory of Population Conceived As a Conglomeration of Clusters », *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, pp. 109-120.
- NEYMAN J., SCOTT E. L. et SHANE C. D. (1956), « Statistics of Images of Galaxies with Particular Reference to Clustering », *Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Proceedings*, 3, pp. 75-111.
- NORDBECK S. (1962), « Location of Areal Data for Computer Processing », *Lund Studies in Geography, Series C, General and Mathematical*, 2.
- NYSTUEN J. D. et DACEY M. F. (1961), « A Graph Theory Interpretation of Nodal Regions », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 7, pp. 29-42.
- Office of Statistical Standards (1958), *Criteria for Defining Standard Metropolitan Areas*, Washington.
- OHLIN B. (1933), *Interregional and International Trade*, Cambridge, Mass.
- OLSON E. C. et MILLER R. L. (1958), *Morphological Integration*, Chicago.
- OLSON J. S. et POTTER P. E. (1954), « Variance Components of Cross-Bedding Direction in Some Basal Pennsylvanian Sandstones of the Eastern Interior Basin : Statistical Methods », *Journal of Geology*, 62, pp. 26-49.
- PARK R. E. (1929), « Urbanization As Measured by Newspaper Circulation », *American Journal of Sociology*, 35, pp. 60-79.
- PARSONS J. J. (1949), « Antioqueño Colonization in Western Colombia : An Historical Geography », *Ibero-Americana*, 32, pp. 1-225.
- PASSARGE S. (1929), *Beschreibende Landschaftskunde*, Hambourg.
- PATERSON J. H. (1960), *North America : A Regional Geography*, Oxford.
- PATTISON W. D. (1957), *Beginnings of the American Rectangular Land Survey System, 1784-1800*, University of Chicago, Department of Geography, Research Papers, 50.
- PEARSON K. (1901), « On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space », *Philosophical Magazine*, 6^e série, 2, pp. 559-572.
- PELTO C. R. (1954), « Mapping of Multicomponent Systems », *Journal of Geology*, 62, pp. 501-511.
- PERLOFF H. S. (1957), *Regional Studies at U.S. Universities*, Washington.
- PERRING F. H. et WALTERS S. M. (1962), *Atlas of the British Flora*, Londres.
- PETTJOHN F. J. (1957), *Sedimentary Rocks*, New York.
- PHILBRICK A. K. (1957), « Principles of Areal Functional Organization in Regional Human Geography », *Economic Geography*, 33, pp. 299-336.
- PLATT R. S. (1942), *Latin America : Countrysides and United Regions*, New York.
- PLATT R. S. (1959), *Field Study in American Geography : The Development of Theory and Method Exemplified by Selections*, University of Chicago, Department of Geography, Research Papers, 61.

- PONSARD C. (1955), *Économie et espace : essai d'intégration du facteur spatial dans l'analyse économique*, Paris.
- POPPER K. R. (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, Londres.
- PORTER P. W. (1960), « Earnest and the Orophagians : A Fable for the Instruction of Young Geographers », *Annals of the Association of American Geographers*, 50, pp. 297-299.
- PORTER P. W. (1963), « What Is the Point of Minimum Aggregate Travel? », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 224-232.
- POSTAN M. (1948), « The Revulsion from Thought », *Cambridge Journal*, 1, pp. 395-408.
- POUNDS N. J. G. (1959), *The Geography of Iron and Steel*, Londres.
- PRED A. (1964), « The Intrametropolitan Location of American Manufacturing », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 165-180.
- QUANT R. E. (1960), « Models of Transportation and Optimal Network Construction », *Journal of Regional Science*, 2, pp. 27-45.
- QUENOUILLE M. H. (1949), « Problems in Plane Sampling », *Annals of Mathematical Statistics*, 20, pp. 355-375.
- RAVENSTEIN E. G. (1885), (1889), « The Laws of Migration », *Journal of the Royal Statistical Society*, 48, p. 52.
- REED L. J. et MUENCH H. (1938), « A Simple Method of Estimating Fifty per Cent Endpoints », *American Journal of Hygiene*, 27, pp. 493-497.
- REILLY W. J. (1929), *Methods for the Study of Retail Relationships*, University of Texas, Bulletin, 2944.
- REYNOLDS R. B. (1956), « Statistical Methods in Geographical Research », *Geographical Review*, 46, pp. 129-132.
- ROBBINS L. (1935), *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*, Londres.
- ROBINSON A. H. (1956), « The Necessity of Weighting Values in Correlation of Areal Data », *Annals of the Association of American Geographers*, 46, pp. 233-236.
- ROBINSON A. H. (1960), *Elements of Cartography*, New York.
- ROBINSON A. H. (1961-A), « On Perks and Pokes », *Economic Geography*, 37, pp. 181-183.
- ROBINSON A. H. (1961-B), « The Cartographic Representation of the Statistical Surface », *International Yearbook of Cartography*, 1, pp. 53-63.
- ROBINSON A. H. (1962), « Mapping the Correspondence of Isarithmic Maps », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, pp. 414-425.
- ROBINSON A. H. et BRYSON R. A. (1957), « A Method for Describing Quantitatively the Correspondence of Geographical Distributions », *Annals of the Association of American Geographers*, 47, pp. 379-391.
- ROBINSON A. H., LINDBERG J. B. et BRINKMAN L. W. (1961), « A Correlation and Regression Analysis Applied to Rural Farm Population Densities in the Great Plains », *Annals of the Association of American Geographers*, 51, pp. 211-221.
- RODGERS A. (1952), « Industrial Inertia : A Major Factor in the Location of the Steel Industry in the United States », *Geographical Review*, 42, pp. 56-66.
- ROGERS E. M. (1962), *Diffusion of Innovations*, New York.
- ROSTOW W. W. (1960), *The Stages of Economic Growth*, Cambridge.
- ROSTOW W. W., Edit. (1963), *The Economics of Take-off into Sustained Growth*, Londres.
- SANDNER G. (1961), *Agrarkolonisation in Costa Rica : Siedlung, Wirtschaft und Sozialfüge an der Pioniergrenze*, Schriften des Geographischen Instituts der Universität Kiel, 19.
- SAUER C. O. (1920), *The Geography of the Ozark Highland of Missouri*, Chicago.
- SAUER C. O. (1925), « The Morphology of Landscape », *University of California, Publications in Geography*, 2, pp. 19-53.
- SAUER C. O. (1952), « Agricultural Origins and Dispersals », *American Geographical Society, Bowman Memorial Lectures*, 2.
- SCHAEFER F. K. (1953), « Exceptionalism in Geography : A Methodological Examination », *Annals of the Association of American Geographers*, 43, pp. 226-249.
- SCHEIDEGGER A. E. (1961), *Theoretical Geomorphology*, Berlin.
- SCHMID C. F. et MACCANNELL E. H. (1955), « Basic Problems, Techniques and Theory of Isopleth Mapping », *Journal of the American Statistical Association*, 50, pp. 220-239.
- SEARS F. W. et ZEMANSKY M. W. (1964), *University Physics*, Reading, Mass.
- SEBESTYEN G. S. (1962), *Decision-Making Processes in Pattern Recognition*, Londres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- SEMPLE E. C. (1911), *Influences of Geographic Environment on the Basis of Ratzel's System of Anthropo-Geography*, New York.
- SIEGEL S. (1956), *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, New York.
- SILK J. A. (1965), *Road Network of Monmouthshire*, University of Cambridge, Department of Geography, B.A. Dissertation.
- SIMON H. A. (1955), « On a Class of Skew Distribution Functions », *Biometrika*, 42, pp. 425-440.
- SIMON H. A. (1957), *Models of Man*, New York.
- SINNHUBER K. A. (1954), « Central Europe-Mitteuropa-Europe Central : An Analysis of a Geographical Term », *Institute of British Geographers, Publications*, 20, pp. 15-39.
- SKILLING H. (1964), « An Operational View », *American Scientist*, 52, pp. 388A-396A.
- SMAILES A. E. (1946), « The Urban Mesh of England and Wales », *Institute of British Geographers, Publications*, 11, pp. 87-101.
- SMITH W. (1953), *An Economic Geography of Great Britain*, Londres.
- SMITH W. (1955), « The Location of Industry », *Institute of British Geographers, Publications*, 21, pp. 1-18.
- Société de biologie expérimentale (1960), *Models and Analogues in Biology*, Cambridge.
- SORRE M. (1947-1952), *Les Fondements de la géographie humaine*, 3 vol., Paris.
- SORRE M. (1961), *L'Homme sur la terre*, Paris.
- SPATE O. H. K. (1952), « Toynbee and Huntington : A Study in Determinism », *Geographical Journal*, 118, pp. 406-424.
- SPATE O. H. K. (1960), « Quantity and Quality in Geography », *Annals of the Association of American Geographers*, 50, pp. 377-394.
- SPECHT R. E. (1959), *A Functional Analysis of the Green Bay and Western Railroad*, Stevens Point.
- SPENCER J. E. et HORVATH R. J. (1963), « How Does an Agricultural Region Originate? », *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp. 74-92.
- STAFFORD H. A., Jr. (1963), « The Functional Bases of Small Towns », *Economic Geography*, 39, pp. 165-175.
- STAMP L. D. et WOOLDRIDGE S. W., Edit. (1951), *London Essays in Geography*, Londres.
- STANISLAWSKI D. (1946), « The Origin and Spread of the Grid-Pattern Town », *Geographical Review*, 36, pp. 105-120.
- STEIN S. J. (1957), *Vassouras : A Brazilian Coffee County, 1850-1900*, Cambridge, Mass.
- STEVENS B. H. (1961), « An Application of Game Theory to a Problem in Locational Strategy », *Regional Science Association, Papers and Proceedings*, 7, pp. 143-157.
- STEWART C. T., Jr. (1958), « The Size and Spacing of Cities », *Geographical Review*, 48, pp. 222-245.
- STEWART J. Q. (1950), « The Development of Social Physics », *American Journal of Physics*, 18, pp. 239-253.
- STEWART J. Q. et WARNTZ W. (1958), « Macrogeography and Social Science », *Geographical Review*, 48, pp. 167-184.
- STODDART D. R. (1965), « Geography and the Ecological Approach : The Ecosystem As a Geographic Principle and Method », *Geography*, 50, 3, pp. 242-251.
- STOUFFER S. A. (1940), « Intervening Opportunities : A Theory Relating Mobility and Distance », *American Sociological Review*, 5, pp. 845-867.
- STOUFFER S. A. (1962), *Social Research to Test Ideas*, New York.
- STRAHLER A. N. (1954), « Statistical Analysis in Geomorphic Research », *Journal of Geology*, 62, pp. 1-25.
- SVIATLOVSKY E. E. et EELLS W. C. (1937), « The Centrographic Method and Regional Analysis », *Geographical Review*, 27, pp. 240-254.
- TAAFFE E. J., MORRILL R. L. et GOULD P. R. (1963), « Transport Expansion in Underdeveloped Countries : A Comparative Analysis », *Geographical Review*, 53, pp. 503-529.
- THATCHER W. S. (1949), *Economic Geography*, Londres.
- THEODORSON G. A. Edit. (1961), *Studies in Human Ecology*, Evanston.
- THOMAS D. (1963), *Agriculture in Wales during the Napoleonic Wars : a study in the geographical interpretation of historical sources*, Cardiff.
- THOMAS E. N. (1960), *Maps of Residuals from Regressions : Their Characteristics and Uses in Geographic Research*, State University of Iowa, Department of Geography, Report, 2.
- THOMAS E. N. (1961), « Towards an Expanded Central Place Model », *Geographical Review*, 51, pp. 400-411.
- THOMAS E. N. (1962), « The Stability of Distance-Population Size Relationships for Iowa Towns from 1900 to 1950 », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 13-30.

- THOMAS F. H. (1960), « The Denver and Rio Grande Western Railroad : A Geographic Analysis », *Northwestern University, Studies in Geography*, 4.
- THOMAS W. L., Jr., Edit. (1956), *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago.
- THOMPSON D'ARCY W. (1917; édit. résumée 1961), *On Growth and Form*, Cambridge.
- THOMPSON J. H., SUFRIN S. C., GOULD P. R. et BUCK M. A. (1962), « Toward a Geography of Economic Health : The Case of New York State », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, pp. 1-20.
- THOMPSON W. R. (1957), « The Coefficient of Localization : An Appraisal », *Southern Economic Journal*, 23, pp. 320-325.
- THÜNEN J. H. von (1875), *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hambourg.
- TOBLER W. R. (1959), « Automation and Cartography », *Geographical Review*, 44, pp. 536-544.
- TOBLER W. R. (1963), « Geographic Area and Map Projections », *Geographical Review*, 53, pp. 59-78.
- TOULMIN S. (1953), *The Philosophy of Science*, Londres.
- TRUXEL E. (1955), *Economics of Transport*, New York.
- TURNER F. J. (1920), *The Frontier in American History*, New York.
- TWAIN M. (1896), *Tom Sawyer Abroad*, New York.
- UKWU U. I. (1965), *Markets in Iboland, Eastern Nigeria*, University of Cambridge, Ph. D. Thesis.
- ULLMAN E. L. (1949), « The Railroad Pattern of the United States », *Geographical Review*, 39, pp. 242-256.
- ULLMAN E. L. (1957), *American Commodity Flow : a geographic interpretation of rail and water traffic based on principles of spatial interchange*, Seattle.
- ULLMAN E. L. et DACEY M. F. (1962), « The Minimum Requirements Approach to the Urban Economic Base », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 121-143.
- UNSTEAD J. F. (1933), « A System of Regional Geography », *Geography*, 18, pp. 175-187.
- VAHL M. et HUMLUM J. (1949), « Vahl's Climatic Zones and Biochores », *Acta Jutlandica, Aarsskrift for Aarhus Universitet*, 21 (N6).
- VAJDA S. (1961), *The Theory of Games and Linear Programming*, Londres.
- VALKENBURG S. van et HELD C. C. (1952), *Europe*, New York.
- VALVANIS S. (1955), « Lösch on Location », *American Economic Review*, 45, pp. 637-644.
- VANCE J. E., Jr. (1960), « Labor-Shed, Employment Field, and Dynamic Analysis in Urban Geography », *Economic Geography*, 36, pp. 189-220.
- VANCE J. E. Jr. (1961), « The Oregon Trail and the Union Pacific Railroad : A Contrast in Purpose », *Annals of the Association of American Geographers*, 51, pp. 357-379.
- VANCE J. E. Jr. (1962), « Emerging Patterns of Commercial Structure in American Cities », *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, 24, pp. 485-518.
- VIDAL DE LA BLACHE P. (1917), *La France de l'Est*, Paris.
- VIDAL DE LA BLACHE P. (1922; 5^e éd. 1955), *Principes de géographie humaine*, Paris.
- VINING R. (1953), « Delimitation of Economic Areas : Statistical Conceptions in the Study of the Spatial Structure of an Economic System », *Journal of the American Statistical Association*, 18, pp. 44-64.
- VINING R. (1955), « A Description of Certain Spatial Aspects of an Economic System », *Economic Development and Cultural Change*, 3, pp. 147-195.
- WAIBEL L. (1958), *Capítulos de geografia tropical e do Brasil*, Rio de Janeiro.
- WALTERS S. M. (1957), « Mapping the Distribution of Plants », *New Biology*, 24, pp. 93-108.
- WARNTZ W. (1959), *Toward a Geography of Price*, Philadelphie.
- WARNTZ W. (1961), « Transatlantic Flights and Pressure Patterns », *Geographical Review*, 51, pp. 187-212.
- WARNTZ W. et NEFT D. (1960), « Contributions to a Statistical Methodology for Areal Distributions », *Journal of Regional Science*, 2, pp. 47-66.
- WATSON J. W. (1955), « Geography : A Discipline in Distance », *Scottish Geographical Magazine*, 71, pp. 1-13.
- WEAVER J. C. (1954), « Crop Combination Regions in the Middle West », *Geographical Review*, 44, pp. 175-200.
- WEAVER J. C. (1956), « The County As a Spatial Average in Agricultural Geography », *Geographical Review*, 46, pp. 536-565.
- WEBB W. P. (1927), *The Great Plains*, New York.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- WEBER A. (1909), *Über den Standort der Industrien*, Tübingen.
- WELLINGTON A. M. (1886), « The American Line from Vera Cruz to the City of Mexico, via Jalapa, with Notes on the Best Methods of Surmounting High Elevations by Rail », *American Society of Civil Engineers, Transactions*, 20.
- WELLINGTON A. M. (1887), *The Economic Theory of the Location of Railways*, New York.
- WHITTEN E. H. T. (1959), « Composition Trends in a Granite : Modal Variation and Ghost Stratigraphy in Part of the Donegal Granite », *Journal of Geophysical Research*, 64, pp. 835-848.
- WHITTESEY D. (1956), « Southern Rhodesia : An African Compagne », *Annals of the Association of American Geographers*, 46, pp. 1-97.
- WILLIAMS W. T. et LAMBERT J. M. (1959-1962), « Multivariate Methods in Plant Ecology », *Journal of Ecology*, 47, pp. 83-101; 48, pp. 689-710; 49, pp. 717-729; 50, pp. 775-802.
- WINSBOROUGH H. H. (1961), *A Comparative Study of Urban Population Densities*, University of Chicago, Ph. D. Thesis.
- WISE M. J. (1949), « On the Evolution of the Jewellery and Gun Quarters in Birmingham », *Institute of British Geographers, Publications*, 15, pp. 57-72.
- WOLFE R. I. (1961), « Transportation and Politics : The Example of Canada », *Annals of the Association of American Geographers*, 52, pp. 176-190.
- WOLFE R. I. (1963), *Transportation and Politics*, Princeton.
- WOLPERT J. (1964), « The Decision Process in Spatial Context », *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 537-558.
- WOOD W. F. (1955), « Use of Stratified Random Samples in Land Use Study », *Annals of the Association of American Geographers*, 45, pp. 350-367.
- WOODWARD M. I. J. (1963), *Geographical Effects of Building the Tamar Road Bridge*, University of Cambridge, Department of Geography, B.A. Dissertation.
- WOOLF H., Edit. (1961), *Quantification : A History of the Meaning of Measurement in the Natural and Social Sciences*, Indianapolis.
- WYNNE-EDWARDS V. C. (1962), *Animal Dispersion in Relation to Social Behaviour*, Édimbourg.
- YATES F. (1960), *Sampling Methods for Censuses and Surveys*, Londres.
- YEATES M. (1963), « Hinterland Delimitation : A Distance Minimizing Approach », *Professional Geographer*, 15 (6), pp. 7-10.
- YUILL R. S. (1965), *A Simulation Study of Barrier Effects in Spatial Diffusion Problems*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Papers, 5.
- ZIPF G. K. (1949), *Human Behaviour and the Principle of Least Effort*, Cambridge.
- ZOBLER L. (1957), « Statistical Testing of Regional Boundaries », *Annals of the Association of American Geographers*, 47, pp. 83-95.
- ZOBLER L. (1958), « Decision Making in Regional Construction », *Annals of the Association of American Geographers*, 48, pp. 140-148.

Orientation bibliographique

Il a semblé utile de fournir au lecteur des indications bibliographiques complétant les références qui précèdent, celles-ci correspondant à la première édition anglaise (1965).

1° Depuis cette édition, la littérature sur les nouveaux concepts de l'analyse géographique et les méthodes quantitatives a connu un développement exceptionnel. La première partie de cette bibliographie regroupe une liste d'ouvrages et de revues publiés récemment.

2° Les références ci-dessus sont presque exclusivement de langue anglaise. Si la littérature de langue française est moins abondante, elle n'est pas inexistante, surtout si l'on considère l'ensemble des sciences naturelles, humaines, économiques et le domaine des mathématiques et des statistiques. Le lecteur trouvera des références utiles pour amorcer une formation mathématique, se familiariser avec des méthodes auxquelles l'auteur fait allusion et en apprécier les applications.

Cette seconde partie de l'orientation bibliographique est donc sélective. Elle ne contient que des références, en langue française, d'imprimés, traitant des méthodes statistiques et mathématiques, dans une perspective intéressant la recherche géographique au sens le plus large, certes, mais dans l'optique de l'analyse spatiale. On trouvera donc très peu de références de travaux de mathématiques et de statistiques appliqués à un domaine de recherche autre que le domaine spatial.

I

L'ouvrage de Peter Haggett a été suivi de plusieurs publications :

ABLER R., ADAMS J. S., GOULD P., *Spatial Organization. The geographer's view of the world*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1971, 587 p.

BUNGE W., « Theoretical Geography », *Lund Studies in Geography*, ser. C, General Mathematical Geography, 1966, n° 1, 289 p. (nouvelle édition, révisée et augmentée).

CHORLEY R., HAGGETT P., *Network Analysis in Geography*, Londres, Arnold, 1969, 348 p.

CHORLEY R., HAGGETT P. (ed. by), *Models in Geography*, Londres, Methuen, 1967, 816 p.

Ce gros volume a été repris, avec des allègements importants, dans trois livres de la série « University Paperbacks » :

1. *Socio-Economic Models in Geography*, 1968;

2. *Integrated Models in Geography*, 1969;

3. *Physical and Information Models in Geography*, 1969.

COLE J. P., KING C. A. M., *Quantitative Geography. Techniques and theories in geography*, Londres, New York, Wiley and Sons, 1968, 692 p.

HAGGETT P., *Geography. A modern synthesis*, Londres, Harper and Row, 1972, 483 p.

KING L. J., *Statistical Analysis in Geography*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1969, 288 p.

MORRILL R. L., *The Spatial Organization of Society*, Belmont (Californie), Duxbury Press, 1970, 251 p.

NEFT D. S., *Statistical Analysis for Areal Distributions*, Regional Science Research Institute, Monograph Series, n° 2.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

TOYNE P., NEWBY P. T., *Techniques in Human Geography*, Londres, Macmillan, 1971, 187 p.

Chacun de ces ouvrages comporte évidemment des bibliographies abondantes. Si les références sont fatalement les mêmes, leur présentation diffère. Il faut mettre à part l'ouvrage de :

HARVEY D., *Explanation in Geography*, Londres, Arnold, 1969, 521 p., ouvrage de réflexion épistémologique unique en son genre.

Les volumes de « Readings » sont nombreux. Ils réunissent des articles parus antérieurement et dispersés dans les revues :

BERRY B. J. L., HORTON F. E., *Geographic Perspectives on Urban Systems*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1970, 564 p.

BERRY B. J. L., MARBLE D. F., *Spatial Analysis : a reader in statistical geography*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1968, 512 p.

DAVIES W. K. D. (ed. by), *The Conceptual Revolution in Geography*, University of London Press, 1972, 394 p.

D'autres livres ont été publiés dans l'optique d'une présentation de ces nouveaux concepts et méthodes aux professeurs de l'enseignement secondaire. Ils se présentent le plus souvent sous la forme de recueils d'articles rédigés par de nombreux auteurs.

CHORLEY R., HAGGETT P., *Frontiers in Geographical Teaching*, Londres, Methuen, 1965, 385 p.; nouvelle édition, University Paperbacks, 1970.

COOKE R. U., JOHNSON J. H. (ed. by), *Trends in Geography. An Introductory Survey*, Pergamon Press, 1969, 287 p.

La plupart des revues étrangères font maintenant une large place à ces nouveaux courants de recherche. Citons :

Annals of the Association of American Geographers.

Economic Geography, publié par l'Université de Clark, Worcester, Massachusetts, 4 numéros par an.

Geographical Analysis, an international journal of theoretical geography, publié par « The Ohio State University Press », 4 numéros par an.

Land Economics, Madison, Wisconsin, 4 numéros par an.

Lund Studies in Geography, ser. B, Human Geography; ser. C, General, Mathematical and Regional Geography, publiées par le département de Géographie de l'Université royale de Lund, Suède.

Regional Studies, Journal of the Regional Studies Association, University of Reading, Grande-Bretagne, 4 numéros par an.

Regional and Urban Economics-Operational Methodes, North Holland, 4 numéros par an.

The Annals of Regional Science, 2 numéros par an, publié en collaboration avec The Western Regional Science Association et Western Washington State College.

et tout spécialement les deux publications de « The Regional Science Association » :

Papers, 1 numéro par an.

Journal of Regional Science, 3 numéros par an.

Depuis 1969, *Progress in Geography, International Reviews of Current Research* (Arnold, ed.) publie un volume annuel contenant des mises au point sur les différentes tendances de la recherche géographique. Les quatre volumes déjà publiés confirment la qualité et l'éclectisme de la revue.

Mais c'est surtout dans les « Seminar Papers » et les « Research Papers », publiés par chaque université, que paraissent régulièrement les résultats des recherches en cours.

II

A. OUVRAGES D'INITIATION AUX STATISTIQUES ET AUX MATHÉMATIQUES

Ces ouvrages sont nombreux. Ceux qui ont été retenus sont accessibles au lecteur dépourvu d'une formation préalable. Ils sont groupés en deux catégories : les ouvrages de base, d'algèbre et d'analyse, et les ouvrages spécialisés. Le nombre d'astérisques est fonction de la difficulté de ces ouvrages.

1. Ouvrages de base

— Algèbre et analyse

- BARBUT M., *Mathématiques des sciences humaines*, 1. *Combinatoire et algèbre*, Paris, P.U.F., 3^e éd. 1971, 255 p.; 2. *Nombres et mesures*, 1968, 289 p.
- BARBUT M., D'ADEMAR C., JULIEN B., LECLERC B., *Mathématiques élémentaires et applications aux sciences sociales et à la statistique*, Paris, P.U.F., à paraître.
- BARBUT M., MONJARDET B.*, *Ordre et classification, algèbre et combinatoire*, Paris, Hachette, 1970, 2 tomes, 176 + 175 p.
- COHEN V., *Mathématiques pour les sciences sociales*, Paris, P.U.F., 1971, 282 p.
- DESPLAS M.*, *Algèbre linéaire et applications économiques*, Paris, Dalloz, 1971, 172 p.
- GAUTHIER C., GIRARD G., GERLL D., THIERCE C., WARUSFEL A.*, *ALEPHo/Algèbre*, Paris, Hachette, 1971, 194 p.; *ALEPHo/Analyse*, t. 1 : *Calcul différentiel. Applications*, Paris, Hachette, 1971, 304 p.
- LESIEUR L., JOULAIN C., LEFEBVRE J.***, *Mathématiques*, P.C. 1^{re} année et spéciales B., Paris, A. Colin, 1966, 2 vol. : *Algèbre et géométrie*, 496 p., *Analyse*, 445 p.; *Mathématiques*, P.C. 2^e année et spéciales B, *Compléments d'analyse, statistique et probabilités*, 1967, 528 p.

— Statistique et probabilité

- BUI-TRONG-LIEU, *Cours de probabilités et statistique à l'usage des étudiants des premiers cycles M-SH, M-P, et P-C*, Paris, Centre de documentation universitaire, 1971, 178 p.
- CALOT G., *Cours de statistique descriptive*, Paris, Dunod, 1965, 519 p.
- CHARTIER F., MORICE E., *Méthode statistique*, Paris, I.N.S.E.E., 1954, 2 tomes, 187 + 555 p.
- CHAMBADAL L.*, *Calcul des probabilités*, Paris, Dunod, 1969, 136 p.
- FOURGEAUD C., *Statistique*, licence ès sciences économiques, 2^e année, Paris, Dey, 1969, 168 p.; 3^e année, 1970, 170 p.
- GIRAULT M.*, *Calcul des probabilités en vue des applications*, Paris, Dunod, 3^e éd. 1970, 210 p.
- GUERBER L., *Statistique descriptive*, Paris, Dalloz, 1971, 156 p.
- GUERBER L., HENNEQUIN P.-L., *Initiation à la statistique*, Paris, Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, 1967, 239 p.; *Initiation aux probabilités*, Paris, Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, 1970, 229 p.
- HÉRAULT D.*, *Éléments de théorie moderne des probabilités*, Paris, Dunod, 1967, 256 p.
- LIORZOU A., *Initiation pratique à la statistique*, Paris, Gauthier-Villars, 2^e éd. 1966, 310 p.
- MONJALLON A., *Introduction à la méthode statistique*, Paris, Librairie Vuibert, 1969, 279 p.

2. Ouvrages spécialisés

- AIVAZIAN S.*, *Étude statistique des dépendances*, Paris, Éditions de Moscou, 1970, 236 p.
- BARBUT M., FOUGEAUD C.*, *Éléments d'analyse mathématique des chroniques*, Paris, Hachette, 1971, 208 p.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- BENZECRI P., *Analyse des correspondances. Classification automatique. Nombreux exemples*. Photocopiés du Laboratoire de Statistique mathématique de l'université de Paris VI, 1966... (différents niveaux de difficultés).
- BERGE C.**, *Théorie des graphes et applications*, Paris, Dunod, 1965, 280 p.
- BERGE C., *Théorie des graphes et des hypergraphes*, Paris, Dunod, 1970, 400 p.
- CARTWRIGHT D., HARARY F., NORMAN R. Z., *Introduction à la théorie des graphes orientés*, Paris, Dunod, 1968, 437 p.
- DENIAU C., OPPENHEIM G.*, *Deux Méthodes d'analyse factorielle*, Actes du colloque sur l'analyse des données en architecture et en urbanisme, Paris, Institut de l'Environnement, 1972.
- DENIAU C., LEROUX B., OPPENHEIM G., *Cours d'analyse des données*, Paris, 1972, Unité d'enseignement et de recherche mathématiques de l'université René Descartes.
- DESABIE J.**, *Théorie et pratique des sondages*, Paris, Dunod, 1966, 500 p.
- DIDAY E.*, *La Méthode des nuées dynamiques et la reconnaissance des formes*, Paris, Institut de recherche informatique appliquée, 1972, 68 p.
- FÉNELON J.-P., LEBART L.*, *Statistique et informatique appliquée*, Paris, Dunod, 1971, 432 p.
- FREY L., *Techniques ordinales en analyse des données. Algèbre et combinatoire*, Paris, Hachette, 1971, 190 p.
- GNEDENKO B. V., KHINTCHINE A. I.*, *Introduction à la théorie des probabilités*, Paris, Dunod, 1969, 168 p.
- GUILBAUD G. T., *Éléments de la théorie mathématique des jeux*, Paris, Dunod, 1968, 152 p.
- LERMAN I. C.*, *Les Bases de la classification automatique*, Paris, Gauthier-Villars, 1970, 118 p.
- ORE O., *Les Graphes et leurs applications*, Paris, Dunod, 1970, 160 p.
- ROY B., *Algèbre moderne et théorie des graphes*, Paris, Dunod, 1. *Notions et résultats fondamentaux*, 1969, 518 p.; 2. *Applications et problèmes spécifiques*, 1970, 784 p.
- TAKÁCS L.*, *Processus stochastiques*, Paris, Dunod, 1964, 200 p.
- TORTRAT A.*, *Principes de statistique mathématique*, Paris, Dunod, 1967, 180 p.
- ULMO J.**, *Étude fondamentale de la régression linéaire multiple*, Paris, Institut de Statistiques de l'université de Paris.
- VAJDA S.*, *Théorie des jeux et programmation linéaire*, Paris, Dunod, 2^e éd. 1968, 272 p.
- YAGLOM A. M., YAGLOM I. M.*, *Probabilité et information*, Paris, Dunod, 2^e éd. 1969, 332 p.

B. LES MÉTHODES STATISTIQUES ET MATHÉMATIQUES DANS LES DISCIPLINES VOISINES DE LA GÉOGRAPHIE

Dans ces disciplines, la réflexion sur l'introduction des méthodes statistiques et mathématiques a déjà abouti à des manuels d'initiation ou à des ouvrages d'application de ces méthodes. Quelques-uns d'entre eux sont mentionnés ci-dessous.

1. Sciences naturelles et biologiques

- DAGNELIE P., « Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle », *Bulletin du service de la carte phytogéographique*, 1960, n° 5, pp. 7-71 et 93-195.
- GOUNOT M., *Méthodes d'étude quantitative de la végétation*, Paris, Masson, 1969, 314 p.
- LAMOTTE M., *Initiation aux méthodes statistiques en biologie*, Paris, Masson, 2^e éd. 1971, 144 p.

2. Économie

- GILLET M., *Techniques de l'histoire économique. Exécution et commentaire de graphiques*, Paris, Centre de documentation universitaire, 1972, 2 fasc., 91 + 16 p.
- MALINVAUD E., *Méthodes statistiques de l'économétrie*, Paris, Dunod, 1969, 800 p.
- PIATIER A., *Statistique et observation économique*, Paris, P.U.F., 1961, 972 p., 1. *Méthodologie, statistique*; 2. *Économétrie, conjoncture, comptabilité nationale*.

3. Sciences de l'homme

- AUSTRUY J., « Méthodes mathématiques et sciences de l'homme », *Revue économique*, 1961, n° 3, pp. 414-439.
- BOUDON R., *L'Analyse mathématique des faits sociaux*, Paris, Plon, 1967, 464 p.
- BOUDON R., *Les Mathématiques en sociologie*, Paris, P.U.F., 1971, 272 p.
- NAYRAC P., *Composants et facteurs, méthodes pour le dégagement des concepts généraux en psychologie quantitative*, Paris, Hermann, 1951, 103 p.
- REUHLIN M., *Les Méthodes quantitatives en psychologie*, Paris, P.U.F., 1962, 455 p.
- TRYSTRAM J.-P., *Statistique et sociologie. Remarques sur la statistique des données qualitatives*, Thèse complémentaire pour le doctorat ès lettres, Paris, 1955, 130 p.
- Calcul et formalisation dans les sciences de l'homme*, Conférences prononcées lors des Journées internationales d'études sur les méthodes de calcul dans les sciences de l'homme, Rome, 4-8 juillet 1966, Paris, C.N.R.S., 1968, 325 p.
- « Analyse de systèmes en sciences sociales », *Revue française de sociologie*, 1970, numéro spécial.
- Archéologie et calculateurs. Problèmes sémiologiques et mathématiques*, Paris, Éditions du C.N.R.S., 1969, 372 p.

C. LES MÉTHODES QUANTITATIVES EN GÉOGRAPHIE

Devant l'extension des nouvelles techniques de recherche et la généralisation du traitement informatique des données, les géographes sont amenés à renouveler leur réflexion sur la méthodologie des recherches dans leur propre discipline.

1. Propos sur l'emploi de méthodes quantitatives dans la recherche géographique

- BEAUJEU-GARNIER J., *La Géographie. Méthodes et perspectives*, Paris, Masson, 1971, 144 p.; chap. II : « La méthode géographique : critiques et perspectives », pp. 29-53.
- BÉGUIN H., « Géographie humaine et mathématiques », *Travaux géographiques de Liège*, 1963, n° 147, pp. 65-91 (exemples d'application).
- BRIÈRE R., « Le nombre en géographie », *Revue de Géographie de Montréal*, 1966, n° 1 et 2, pp. 90-98 (exemples d'application).
- BRUNET R., « Les nouveaux aspects de la recherche géographique : rupture ou raffinement de la tradition? », *L'Espace géographique*, 1972, n° 2, pp. 73-77.
- CLAVAL P., « La réflexion théorique en géographie et les méthodes d'analyse », *L'Espace géographique*, 1972, n° 1, pp. 7-22.
- FEL A., « Deux géographies humaines? », *L'Espace géographique*, 1972, n° 2, pp. 107-112.
- FRENCH H. M., RACINE J. B., « Quantitative and qualitative geography : la nécessité d'un dialogue », *Travaux du département de géographie de l'université d'Ottawa*, 1971, n° 1; Éditions de l'université d'Ottawa, 1971, 216 p.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- GEORGE P., « Géographie quantitative, nouveau déterminisme? », *Notiziario di Geografia economica*, Università di Roma, dic. 1971, pp. 33-43.
- GEORGE P., « L'illusion quantitative en géographie », in *La Pensée géographique française contemporaine*, Mélanges offerts au professeur A. Meynier, Presses Universitaires de Bretagne, 1972, pp. 121-131.
- LABASSE J., « Quantitatif et qualitatif : réflexions d'un géographe », *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 1969, n° 4, pp. 185-192.
- LIBAULT A., « L'interprétation des valeurs numériques dans la recherche géographique », *Annales de Géographie*, n° 320, mai-juin 1951, pp. 161-182 (les notions de statistique permettant l'étude d'une distribution de points).
- LIBAULT A., « La mathématique, méthode ou auxiliaire de la géographie », in *Mélanges offerts à Omer Tulippe*, Paris, Gembloux, 1967, t. 2, pp. 523-534.
- MARCHAND B., « L'usage des statistiques en géographie », *L'Espace géographique*, 1972, n° 2, pp. 79-100 (rappel des principales utilisations des méthodes statistiques en géographie).
- PREOBRAGENSKY V. S., « Modèles mathématiques en géographie », in *La Géographie internationale*, ouvrage publié à l'occasion du 22^e congrès international de Géographie, University of Toronto Press, 1972, t. 2, pp. 954-956.
- RACINE J. B., « Nouvelle frontière pour la recherche géographique », *Cahiers de Géographie de Québec*, 1969, n° 29, pp. 135-168 (une place importante est consacrée à l'analyse factorielle).
- RIMBERT S., « Aperçu sur la géographie théorique : une philosophie, des méthodes, des techniques », *L'Espace géographique*, 1972, n° 2, pp. 101-106.
- TULIPPE O., « L'outil mathématique au service de la géographie appliquée », *Travaux géographiques de Liège*, n° 152, 1967, extrait de la *Revue des Sciences économiques*, mars 1967, 9 p.

2. Ouvrages de méthodologie et d'initiation

- BRUNET R., *Les Phénomènes de discontinuité en géographie*, Paris, Éditions du C.N.R.S., Mémoires et Documents, 1967, vol. 7, 117 p.
- PÉDELABORDE P., *Les Mathématiques élémentaires appliquées à la géographie physique*, Paris, Centre de documentation universitaire, 1970, 164 p.
- PÉGUY C.-P., *Éléments de statistique appliquée aux sciences géographiques (géographie physique et géographie humaine)*, Paris, Centre de documentation universitaire, 1957, 201 p.
- RACINE J. B., REYMOND H., *L'Analyse quantitative en géographie*, Paris, P.U.F., à paraître (ouvrage consacré à l'ensemble des techniques d'analyse multivariée expérimentées à l'occasion d'une étude sur la croissance du Grand Montréal).

D. ANALYSES SPATIALES ET MÉTHODES QUANTITATIVES

Dans des ouvrages récents consacrés à l'analyse urbaine, des économistes et géographes français ont présenté les recherches théoriques et les travaux empiriques qui se sont développés depuis l'après-guerre dans les pays anglo-saxons et en France : recherches sur les places centrales et les régions économiques (Christaller, Lösch), sur la relation rang-dimension (Zipf), les localisations (Von Thünen, Weber), les modèles de gravité, la théorie de la base économique et les multiplicateurs d'emploi.

1. Références générales

— Livres

- BERRY B. J. L., *Géographie des marchés et du commerce de détail*, Paris, A. Colin, coll. « U2 », 1971, 254 p.; traduction par B. Marchand de l'ouvrage publié aux États-Unis, *Geography of Market Centers and Retail Distribution*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1967.
- BOUDEVILLE J. (dir.), *L'Espace et les pôles de croissance*, Paris, P.U.F., 1968, 232 p.
- BOUDEVILLE J. (dir.), *L'Univers rural et la planification*, Paris, P.U.F., 1968, 216 p.
- BOUDEVILLE J., *Aménagement du territoire et planification*, Paris, Genin, 1972, 280 p.
- CLAVAL P., « Géographie générale des marchés », *Cahiers de Géographie de Besançon*, n° 10, Paris, Les Belles Lettres, 1962, 360 p.
- CLAVAL P., « Essai sur l'évolution de la géographie humaine », *Cahiers de Géographie de Besançon*, n° 12, Paris, Les Belles Lettres, 1964, 162 p.; chap. IX : « Géographie et méthode économique », pp. 131-145.
- CLAVAL P., *Régions, nations, grands espaces*, Paris, Genin, 1968, 837 p.
- CORONT-DUCLUZEAU F., *La Formation de l'espace économique national*, Paris, A. Colin, 1964, 252 p.
- DERYCKE P.-H., *L'Économie urbaine*, Paris, P.U.F., 1970, 261 p.
- GUYOT F., *Essai d'économie urbaine*, Paris, Librairie générale de Droit et de Jurisprudence, 1968, 375 p.
- HOOVER E. M., *La Localisation des activités économiques*, Paris, Éditions ouvrières, 1955; traduction par J. Alarent de l'ouvrage publié aux États-Unis, *The Location of Economic Activity*, 1948.
- ISARD W., *Méthode d'analyse régionale. Une introduction à la science régionale*, t. 1 : *Équilibre économique*; t. 2 : *Optimisation*, Paris, Dunod, 1972, 240 + 224 p. Traduction par Sallez et Strawczynski.
- LACHENE R., *Contribution à l'analyse de l'espace économique*, Thèse pour le doctorat de sciences économiques, Paris, 1965, 177 p. ronéoté, *Metra*, 1965, série spéciale, n° 6, 146 p.
- PONSARD C., *Économie et espace. Essai d'intégration du facteur spatial dans l'analyse économique*, Paris, S.E.D.E.S., 1955, 467 p.
- PONSARD C., *Histoire des théories économiques spatiales*, Paris, A. Colin, 202 p.
- PROST M.-A., *La Hiérarchie des villes en fonction de leurs activités de commerce et de service*, Paris, Gauthier-Villars, 1965, introduction et 1^{re} partie, pp. 11-59.
- REPUSARD M., *Les Méthodes d'analyse urbaine*, Bordeaux, Éd. Bière, 1966, 216 p.
- ROUSSELOT J.-P., *La Théorie de l'Espace chez August Lösch*, Paris, thèse ès sciences économiques, 1960, 278 p.
- TERMOTE M., *Migration et équilibre économique spatial*, Université catholique de Louvain, Faculté des Sciences économiques, sociales et politiques, Louvain, nouvelle série, 1969, n° 54, 256 p.

— Articles

- ADAM H., « Méthodes statistiques et recherches corrélatives en géographie urbaine », *Hommes et Terres du Nord*, 1965, n° 3, pp. 105-116 (analyse du livre de A. MOSER et W. SCOTT, *British Towns, a statistical study of their social and economic differences*, et présentation de quelques applications méthodologiques en France).
- BAILLY A., « La théorie de la base économique : son histoire, son évolution », *Revue géographique de l'Est*, 1971, n° 3-4, pp. 299-317.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- CLAVAL P., « La théorie des lieux centraux », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1966, pp. 131-152.
- CLAVAL P., « La théorie des villes », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1968, pp. 3-56.
- CLAVAL P., « La localisation des activités industrielles », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1969, pp. 187-214.
- DREYFUS J., « Recherche et aménagements urbains », *Consommation*, 1966, n° 1, 119 p. (réflexion critique sur les études françaises d'aménagement urbain et analyse de la recherche urbaine aux États-Unis).
- NEIL J. M., « Notes sur les localisations industrielles », *Économies et Sociétés*, Cahiers de l'I.S.E.A., oct. 1966, pp. 31-96.
- PONSARD C., « Graphes de transfert et analyse économique », *Revue d'économie politique*, 1972, n° 2.

2. Applications

Certains thèmes d'analyse spatiale ont été des domaines privilégiés d'application des méthodes statistiques et mathématiques, ou tout au moins de recherches méthodologiques.

Une place à part est faite, dans la bibliographie, aux exemples de modèles et d'analyse factorielle, et aux méthodes d'enquêtes par sondage.

L'ANALYSE RÉGIONALE

Pour un aperçu sur les études régionales effectuées par les géographes français :

- THIBAUT A., « L'analyse des espaces régionaux en France depuis le début du siècle », *Annales de Géographie*, n° 444, mars-avril 1972, pp. 129-170.

Pour une réflexion sur la notion de région :

- BRUNET R., « Pour une théorie de la géographie régionale », in *La Pensée géographique française contemporaine*, Mélanges offerts au professeur A. Meynier, Presses Universitaires de Bretagne, 1972, pp. 649-662.
- CLAVAL P., JUILLARD E., *Région et régionalisation dans la géographie française et d'autres sciences sociales*, Paris, Dalloz, 1967, 99 p.
- JUILLARD É., « La région, essai de définition », *Annales de Géographie*, n° 387, sept.-oct. 1962, pp. 483-499.

et dans les Actes du congrès de l'Association de Science régionale de langue française, consacré au « dialogue interdisciplinaire dans les sciences régionales », Bordeaux, 27-29 mars 1969, *Revue juridique et économique du Sud-Ouest*, 1969, n° 3, les communications de :

- BOUDEVILLE J., « L'économiste et la région du géographe », pp. 515-522.
- CLAVAL P., « Les économistes, les géographes et la région », pp. 523-531.
- MILHAU J., « Le rôle de l'économiste en matière de théorie et de politiques économiques régionales », pp. 559-574.
- ROCHEFORT M., « Les géographes face à la notion de région », pp. 507-513.
- ROSENFELD F., « La statistique dans l'analyse et la programmation de l'économie régionale », pp. 533-548.

Trois ouvrages restent fondamentaux pour la méthodologie des études d'organisation régionale, bien que leur formulation n'emprunte rien au langage mathématique :

- DUGRAND R., *Villes et campagnes en Bas-Languedoc*, Paris, P.U.F., 1963, 638 p.
- LABASSE J., *Les Capitaux et la région*, Paris, A. Colin, 1955, 532 p.
- ROCHEFORT M., *L'Organisation urbaine de l'Alsace*, Paris, Les Belles Lettres, 1960, 384 p.

Comme exemple méthodologique, voir :

BEAUD M., « Une analyse des disparités régionales de croissance. Composante régionale et composante structurale de l'évolution de l'emploi régional en France entre 1954 et 1962 », et « Analyse régionale, structurale et planification régionale », *Revue économique*, 1966, n° 1, pp. 55-91; n° 2, pp. 264-287.

— Les zones d'influence

La détermination des zones d'attraction commerciale des centres urbains français a fait l'objet d'une vaste enquête nationale, lancée par le professeur A. Piatier, directeur du Centre d'étude des techniques économiques modernes, qui en a présenté le but et la méthode :

PIATIER A., « L'attraction commerciale des villes : une nouvelle méthode de mesure. L'enquête d'essai menée dans le Loir-et-Cher », *Revue juridique et économique du Sud-Ouest*, série économique, 1956, n° 4, pp. 575-601 (l'article a paru pour la 1^{re} fois en italien, dans la revue *Studi di Mercato*, juillet 1956).

Les enquêtes ont été menées en collaboration avec des organismes régionaux qui se sont chargés de la publication des résultats. La liste de ces organismes est donnée en annexe dans l'article de :

PIATIER A., « Les villes où les Français achètent », *Les Informations*, supplément au n° 1229 du 2 décembre 1968, pp. 6-27.

Voir encore :

BARBIER B., DELEFORTRIE-SOUBEYROUX N., STRAZZIERI A., « Les zones d'attraction commerciale de la région Provence-Côte d'Azur-Corse », n° spécial de la *Revue de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille*, 1965, 204 p.

CLAVAL F., « Contribution à l'étude des zones d'attraction commerciale des villes, à propos d'une étude sur les villes du Doubs », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1968, pp. 129-149.

ROUCLoux J.-C., « Le rayonnement, la structure et la localisation du commerce de détail à Soignies et à Braine-le-Comte », *Bulletin de la Société belge d'études géographiques*, 1966, n° 1, pp. 101-155.

Pour la délimitation des zones d'influence urbaine :

CHABOT G., « La détermination des courbes isochrones en géographie urbaine », in *Congrès international de Géographie, Amsterdam, 1938*, t. II, section IIIa, pp. 110-113.

DUSSART F., « Les courbes isochrones de la ville de Liège pour 1958-1959 », *Travaux du Cercle des géographes liégeois*, fasc. 112, 1959, pp. 59-68.

GOOSSENS M., « L'organisation urbaine du Nord-Est de la Belgique. Confrontation de quelques méthodes », *Bulletin de la Société belge d'études géographiques*, 1963, n° 1, pp. 93-164 (une partie de l'article est consacrée à la confrontation de plusieurs méthodes de délimitation).

PIVETEAU J.-L., « Le « rang de voisinage » comme moyen d'approche de l'influence urbaine et de l'environnement urbain. Application à la région comprise entre Berne et Lausanne », *Revue de Géographie de Lyon*, 1968, n° 4, pp. 377-394.

SCHWAB R., « Une méthode pour l'étude des réseaux urbains : les statistiques téléphoniques », *Bulletin de la Faculté des Lettres et Sciences humaines de Strasbourg*, mars 1967, pp. 494-505.

SCHWAB R., « Le réseau urbain de l'Alsace d'après les statistiques téléphoniques », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1968, pp. 58-73.

— La distribution spatiale

- BAKER A. R. H., « Établissements ruraux sur la marge sud-ouest du Bassin Parisien, dans les premières années du XIX^e siècle », *Noroi*, 1968, n° 60, pp. 481-492 (étude des formes d'une distribution).
- CHIFFRE J., « Une nouvelle formule de dispersion de l'habitat rural : son application au Nivernais », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1969, pp. 149-175.
- FERRIER J.-P., *Géographie, informatique et méthodes systématiques. Exemple d'application. La répartition des activités industrielles dans la région Provence-Côte d'Azur*, Marseille, Centre régional de documentation pédagogique, 1971, 79 p.
- MASSAM B. H., SEMPLE K., « Quelques commentaires sur l'analyse de la répartition spatiale du peuplement de la Gaspésie et du bas Saint-Laurent », *Cahiers de Géographie de Québec*, déc. 1971, n° 36, pp. 569-576 (utilisation de la méthode du plus proche voisin).
- NADASDI I., PRUS-YARNUTOWSKI S., « Exemples d'application de quelques méthodes mathématiques à l'étude synthétique des mouvements migratoires internes définitifs en Belgique », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 1968, n° 4, pp. 49-77.
- NADASDI I., « L'évolution séculaire (1821-1968) de la répartition et du développement de la population au Grand Duché de Luxembourg », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 1970, n° 6, pp. 145-168.

L'ANALYSE URBAINE

Les premiers travaux de recherche statistique comparative sur un groupe de villes ont fait l'objet d'une publication parue en 1959 :

- GOZZI J., PINCHEMEL P., VAKILI A., « Niveaux optima des villes. Essai de définition d'après l'analyse des structures urbaines du Nord et du Pas-de-Calais », *Comité d'études régionales économiques et sociales*, cahier n° 11, Lille, 1959, 117 p.

Elle fut suivie d'une étude systématique des villes françaises de plus de 20 000 habitants. L'ouvrage, paru en 1963, contient de nombreux exemples de traitement statistique des données de population urbaine, sur les thèmes de l'urbanisation, de la croissance urbaine, des structures professionnelles et des fonctions :

- CARRIÈRE F., PINCHEMEL P., *Le Fait urbain en France*, Paris, A. Colin, 1963, 375 p.

— Les hiérarchies

Les études de hiérarchie ont essentiellement concerné les agglomérations de population, prenant en considération, soit seulement la taille de ces agglomérations mesurée par l'importance numérique de la population, soit la taille et la répartition fonctionnelle de la population active.

Sur la relation rang-dimension (Zipf) :

- ADAM H., IOOS A., « Une application de la règle « de la taille suivant le rang » (Rank Size Rule) à l'étude des villes de la région du Nord », *Hommes et Terres du Nord*, 1964, n° 2, pp. 77-83.

- CHARLET J.-C., « Les agglomérations urbaines françaises de plus de 100 000 habitants. Quelques aspects de leur croissance », *Hommes et Terres du Nord*, 1967, n° 2, pp. 49-64.

Sur la relation taille-activités :

- BAILLY A., BUEB J.-C., GUARY M., MATHIEU D., « Problèmes d'urbanisation dans la région de Belfort-Montbéliard », *Cahiers de Géographie de Besançon*, 1967, n° 15, chap. : « La structure commerciale de la région », pp. 67-75.

GRIFFON J.-M., « Les activités tertiaires », *Consommation*, 1963, n° 3, pp. 23-60.

Sur la hiérarchie fonctionnelle :

BABONAUX Y., *Les Activités tertiaires spécifiques dans l'armature urbaine française*, Paris, Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme, 1968, 2 t., 101 + 111 p.

BEREZOWSKI S., « Méthodologie de l'étude des lieux centraux en Pologne », *Revue géographique de l'Est*, juill.-sept. 1967, pp. 365-372.

DALMASSO É., *Milan, capitale économique de l'Italie*, Gap, Éd. Ophrys, 1971, pp. 186-188 (application de la méthode utilisée par J. Hautreux et M. Rochefort).

DAMETTE F., « Région, armature urbaine et taille des villes », *La Vie urbaine*, 1968, n° 4, pp. 287-323.

DELSAUT P., « Hiérarchie des villes de la région du Nord d'après leur fonction de place centrale », *Hommes et Terres du Nord*, 1966, n° 1, pp. 7-45 (la notion de centralité et différentes méthodes d'étude).

GOOSSENS M., « L'organisation urbaine du Nord-Est de la Belgique. Confrontation de quelques méthodes », *Bulletin de la Société belge d'études géographiques*, 1963, n° 1, pp. 93-164 (une partie de l'article est consacrée aux méthodes de classement hiérarchique des centres).

HAMELIN L.-E., CAYOUILLE G., DE KONINCK R., « Un indice de primatie appliqué à la concurrence entre Montréal et Toronto », *Revue de Géographie de Montréal*, 1967, vol. XXI, n° 2, pp. 389-396.

HAUTREUX J., ROCHEFORT M., *La Fonction régionale dans l'armature urbaine française*, Paris, Commissariat général du plan d'équipement et de la productivité, 1964, 94 p.

HAUTREUX J., ROCHEFORT M., « Physionomie générale de l'armature urbaine française », *Annales de Géographie*, n° 406, nov.-déc. 1965, pp. 660-677.

JUILLARD É., *Essai de hiérarchisation des centres urbains français actuels*, Paris, Ministère de la Construction, 1961, 15 p.

LE FILLATRE P., « La puissance économique des grandes agglomérations françaises, déduite de l'étude des sièges et des succursales d'entreprises à établissements multiples », *Études et Conjoncture*, 1964, n° 1, pp. 3-40.

MARTIN J.-P., « Taxe locale et hiérarchie urbaine », *Revue géographique de l'Est*, janv.-juin 1968, pp. 74-87.

MASSONIE J.-P., « Hiérarchie des villes et des régions », *Cahiers de Géographie de Besançon*, séminaires et notes de recherche, 1971, n° 1, 17 p.

MULLER J.-J., « Équipements tertiaires et centres en Basse-Normandie », *Norois*, 1971, n° 69, pp. 69-85.

PROST M.-A., *La Hiérarchie des villes en fonction de leurs activités de commerce et de service*, Paris, Gauthier-Villars, 1965, 2^e partie, pp. 161-321.

ROCHEFORT M., « Méthodes d'étude des réseaux urbains. Intérêt de l'analyse du secteur tertiaire de la population active », *Annales de Géographie*, n° 354, mars-avril 1957, pp. 125-143.

— La base économique des villes et les phénomènes d'induction

ANTOINE J.-C., « Recherches statistiques sur les structures économiques des agglomérations françaises », *Cahiers de l'I.S.E.A.*, série L, n° 11, 1962.

CAHEN L., PONSARD C., *La Répartition fonctionnelle de la population des villes et son utilisation pour la détermination des multiplicateurs d'emploi*. Complément : *Recherche d'un multiplicateur sectoriel pour l'agglomération de Lyon*, Paris, Ministère de la Construction, 1963, 101 p.

- CARRÈRE P., *Les Effets d'induction dans la croissance des grandes agglomérations*, compte rendu de la communication présentée au congrès international de la population, Belgrade, 20 août-10 sept. 1965.
- CARRIÈRE F. et PINCHEMEL P., *Le Fait urbain en France*, Paris, A. Colin, 1963, pp. 263-290 (méthode dite des « deux taux »).
- LE GUEN G., « La structure de la population active des agglomérations françaises de plus de 20 000 habitants. Méthode d'étude. Résultats », *Annales de Géographie*, n° 374, juill.-août 1960, pp. 355-370 (application de la méthode d'Alexandersson).
- LEBEL N., VIGNAUX D., « Hiérarchie spatiale des activités en banlieue de Paris », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, janv. 1971, vol. 22, 25 p.
- PONSARD C., « Croissance des villes et structure des activités », *Revue de l'économie du Centre-Est*, oct.-déc. 1963, pp. 53-59 (présentation de l'étude faite par le C.R.E.S.C.O.).
- RACINE J. B., « Exurbanisation et métamorphisme péri-urbain. Introduction à l'étude de la croissance du Grand Montréal », *Revue de Géographie de Montréal*, 1967, n° 2, pp. 313-341 (application de la méthode des « deux taux »).
- SAGET F., « Pour une stratégie de l'emploi industriel en milieu urbain. Une application : le cas de Gien », *Urbanisme*, 1971, n° 1, pp. 42-48 (application de la théorie de la base).
- Les transports
- BARBIER M., MERLIN P., « Le futur réseau de transports en région de Paris », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1966, vol. 4-5, n° 4, 58 + 40 p.
- MERLIN P., « Les moyens de transport et le rythme d'urbanisation. Le cas particulier de l'agglomération parisienne », *Acta Geographica*, 1966, n° 62-63, pp. 41-44.
- MERLIN P., « Les transports urbains et leurs usagers en région de Paris », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1966, vol. 4-5, n° 2, 20 + 54 + 56 p.
- MERLIN P., *Les Transports parisiens*, Paris, Masson, 1966, 495 p.

MODÈLES, ANALYSES FACTORIELLES, MÉTHODES D'ENQUÊTE

— Modèles

Pour une présentation générale de la notion et du processus d'élaboration des modèles, voir :

ZEITOUN J., *Modèles en urbanisme. Étude critique*, Paris, Centre de recherche d'urbanisme, 1971, 226 p.

Les différents types de modèles expérimentés en recherche urbaine aux États-Unis sont présentés dans :

DANET A., MERCADAL G., « Les modèles de développement spatial urbain », *Économies et Sociétés*, Cahiers de l'I.S.E.A., juin 1968, pp. 1217-1235.

MERLIN P., « Modèles d'urbanisation », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, mai 1968, vol. 11, n° 1, 72 p.

RACINE J. B., « Le modèle américain », *Annales de Géographie*, n° 440, juillet-août 1971, pp. 397-427.

Les modèles d'analyse spatiale dont les références suivent sont différenciés selon le thème étudié :

1° Modèles de localisation et de différenciation spatiale :

BÉGUIN H., *Modèles géographiques pour l'espace rural africain*, Bruxelles, Académie royale des sciences d'outre-mer, 1964, 74 p.

CHAÎNEAU A., « Un modèle d'analyse de l'espace économique français », *Revue d'économie politique*, 1965, n° 1.

DI MEGLIO R., TAIEB F., « Un modèle de localisation des surfaces commerciales : Paprica », *Urbanisme*, 1971, n° 5, pp. 10-17.

FOGGIN P., « Les formes de l'utilisation du sol à Montréal », in *Montréal, guide d'excursions*, 22^e congrès international de géographie, Presses de l'Université de Montréal, 1972, pp. 32-45.

LEMAY G., RACINE J. B., « L'analyse discriminatoire des correspondances typologiques dans l'espace géographique », *L'Espace géographique*, 1972, n° 3, pp. 145-166.

MIZRAHI A., MIZRAHI A., ROSCH G., « Les champs d'action des équipements hospitaliers », *Consommation*, 1963, n° 3, pp. 61-106.

PONSARD C., « Une application de la théorie des graphes à l'analyse de l'espace économique : un modèle de localisation optimale de l'unité de production dans une structure de concurrence », *Techniques économiques modernes*, 1966, n° 4.

2^o Modèles d'économie urbaine :

BOUDEVILLE J., « Modèle de croissance urbaine du Bassin Parisien », *Économies et Sociétés*, Cahiers de l'I.S.E.A., juin 1968, pp. 1237-1248.

DUTAILLY J.-C., « Les valeurs foncières en région parisienne (recherche d'un modèle) », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1971, vol. 25.

FODOR L., « Les problèmes de la croissance industrielle à l'intérieur des métropoles », *Bulletin de la Société languedocienne de géographie*, janv.-mars 1969, pp. 67-84.

3^o Modèles d'économie régionale :

BERNARD P., « Un modèle de croissance régionale », *Cahiers de l'I.S.E.A.*, oct. 1963, pp. 57-64.

FOX K. A., « Modèles relatifs à l'alimentation et à l'agriculture en tant que secteurs des économies nationales et régionales », *Cahiers de l'I.S.E.A.*, nov. 1963, pp. 3-44.

HEADY E. O., RANDHAWA N. S., « L'utilisation régionale du sol dans la planification du développement agricole en Inde », *Cahiers de l'I.S.E.A.*, janv. 1966, pp. 19-36.

LHERT J., « Un modèle théorique de régionalisation d'un tableau d'échanges interindustriels », *Revue économique du Sud-Ouest*, 1972, n° 1, pp. 83-118.

PONSARD C., « Essai d'interprétation topologique des systèmes interrégionaux. Les graphes de transfert et l'analyse économique des systèmes interrégionaux », *Revue économique*, 1967, n° 3, pp. 353-373; n° 4, pp. 543-575.

PONSARD C., *Un modèle topologique d'équilibre économique interrégional*, Paris, Dunod, 1969, 140 p.

4^o Modèles de migrations :

COURGEAU D., « Les champs migratoires en France », *Travaux et documents de l'Institut national d'études démographiques*, n° 58, Paris, P.U.F., 1970, 158 p.

SOCIÉTÉ D'ÉCONOMIE ET DE MATHÉMATIQUE APPLIQUÉES, *Modèle explicatif des migrations intérieures en France*, Paris, 1965, 84 p., 1967, 73 p.

TERMOTTE M., « Les modèles de migration », *Recherches économiques de Louvain*, 1967, n° 4, pp. 413-444.

5^o Modèles de transports :

BARBIER M., GOLBERG, HENRY, MARAIS, *Modèles de trafic. Analyse bibliographique*, I.A.U.R.P., 1963, 81 p.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- BARBIER M., MOISDON J.-C., SCHAUVLIEGE J.-M., JOSEPH M.-D., « Investissement et tarification des transports urbains. Un essai d'approche systématique », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1969, vol. 17-18, n° 4, 44 p. (recherche sur les capacités de transports).
- MALLET F., « Analyse du choix du mode de transport par les usagers en région parisienne », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1969, vol. 17-18, n° 2, 42 p.
- MERLIN P., *Les Transports parisiens*, Paris, Masson, 1966, 495 p. (une place à part est réservée à l'influence des autoroutes).
- Analyses factorielles
- Sur les méthodes et leurs applications :
- BALLADUR J.-P., « Analyse factorielle des correspondances », *Annales de l'I.N.S.E.E.*, 1970, n° 4, pp. 47-79 (analyse des correspondances-type Benzecri).
- BOICHARD J., « Gestion agricole et géographie rurale », *Revue de Géographie de Lyon*, 1969, n° 4, pp. 321-374 (méthodes d'analyse globale ou des comparaisons).
- LABBÉ B., « L'analyse factorielle », *Métra*, 1965, n° 3, pp. 421-438.
- RACINE J. B., « Modèles graphiques et mathématiques en géographie humaine. 1 : La transformation des unités statistiques quantitatives en unités géographiques qualitatives; 2 : Les algorithmes de l'analyse typologique », *Revue de Géographie de Montréal*, 1971, n° 4, pp. 323-358; 1972, n° 1, pp. 7-34.
- VOLLE M. et al., « L'analyse arborescente », *Annales de l'I.N.S.E.E.*, 1970, n° 4, pp. 81-99.
- Des exemples :
- BARBIER M., TAISNE-PLANTEVIN C., « Comparaison et classification des communes de l'agglomération parisienne », *Cahiers de l'I.A.U.R.P.*, 1965, vol. 3, 105 p. (analyse de Spearman).
- CEAUX J., RONCAYOLO M., « 1. La division sociale de l'espace urbain : méthodes et procédés d'analyse; 2. L'analyse statistique des espaces urbains : quelques applications à Marseille », deux communications présentées au colloque sur « la division sociale de l'espace urbain », *Bulletin de l'Association des géographes français*, janv.-févr. 1972, pp. 5-30.
- DALMASSO E., « Essai d'application de quelques méthodes statistiques à la région milanaise », *Bulletin de l'Association des géographes français*, nov.-déc. 1971, pp. 377-392.
- GEIGER P. P., GUIMARAES M. R. de SILVA, STEFFAN E. R., « Application de la technique d'analyse des composants principaux à l'étude des villes de la région Centre-Ouest du Brésil », *Cahiers de Géographie de Québec*, sept. 1971, n° 35, pp. 191-212.
- GREER-WOOTEN B., « Le modèle urbain », in *Montréal, guide d'excursions*, 22^e congrès international de géographie, Presses de l'Université de Montréal, 1972, pp. 9-31 (étude des transformations sociales à Montréal, entre 1951 et 1961).
- LE BRAS H., « La mortalité actuelle en Europe. Présentation et représentation des données », *Population*, 1972, n° 2, pp. 271-293 (analyse en composantes principales et analyse des correspondances).
- LOUX F., VIRVILLE M. de, « Le système social d'une région rurale, le Châtillonnais », *Études rurales*, juill.-sept. 1969, pp. 5-135 (analyse des correspondances).
- MEUNIER M., RACINE J. B., « La structure spatiale des États-Unis. Essai d'analyse statistique multivariée », *Cahiers de Géographie de Québec*, sous presse.
- OMNIUM TECHNIQUE D'AMÉNAGEMENT, *Composantes de la fonction urbaine. Essai de typologie des villes*, Paris, D.A.T.A.R., avril 1970, 105 p.
- RACINE J. B., « Les structures de l'utilisation du sol urbain sur la rive sud », in *Montréal, guide d'excursions*, 22^e congrès international de géographie, Presses de l'Université de Montréal, 1972, pp. 95-102.

— Méthodes d'enquête

Quelques exemples seulement sont donnés, de méthodes de collecte des informations et d'enquêtes par sondage :

- BELTRAMONE A., « Sur la mesure des migrations intérieures au moyen des données fournies par les recensements », *Population*, 1962, n° 4, pp. 703-724.
- CLERC P., « Grands ensembles et banlieues nouvelles », *Travaux et documents de l'I.N.E.D.*, n° 49, Paris, P.U.F., 1967, 471 p., chap. II : « L'enquête », pp. 37-63.
- FLEURY M., HENRY L., « Pour connaître la population de la France depuis Louis XIV. Plan de travaux par sondage », *Population*, 1958, n° 4, pp. 663-686.
- LAURENT C., « Les méthodes du service central des enquêtes et études statistiques (ministère de l'Agriculture) », *Économie rurale*, 1966, n° 3, pp. 57-71.
- POURCHER G., « Le peuplement de Paris », *Travaux et documents de l'I.N.E.D.*, n° 43, Paris, P.U.F., 1964, 310 p., chap. II : « La réalisation de l'enquête »; chap. III : « Le champ de l'enquête », pp. 29-71.
- TRYSTRAM J.-P., « Un langage de description des données statistiques », *Bulletin du comité français de cartographie*, août-sept. 1970, pp. 114-117.

E. MÉTHODOLOGIE EN CARTOGRAPHIE ET TECHNIQUES CARTOGRAPHIQUES

La cartographie n'est pas seulement la représentation visualisée des localisations. C'est aussi l'expression synthétique d'une masse d'informations dont le traitement et la traduction graphique exigent une recherche méthodologique d'ensemble. Voir à ce sujet :

- CLAVAL P., « La cartographie thématique comme méthode de recherche », *Cahiers de Géographie de Besançon*, 1969, n° 18, Paris, Les Belles Lettres, 125 p.
- COMMISSION DE CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE DU COMITÉ FRANÇAIS DE CARTOGRAPHIE, « La cartographie thématique en France », rapport de la Commission pour la quatrième assemblée générale, Montréal, août 1972, *Bulletin du Comité français de cartographie*, juin 1972, pp. 53-86 (fait le point sur le rôle et les problèmes de la cartographie thématique et présente quelques réalisations françaises).
- BROMMER S. de, « Vers une cartographie moderne. Évolution des buts et des aspects », *Bulletin du Comité français de cartographie*, nov.-déc. 1969, pp. 250-258.

1. Méthodologie

- BERTIN J., *Sémiologie graphique, les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris-La Haye, Mouton; Paris, Gauthier-Villars, 1967, 431 p. (ouvrage de base).
- BERTIN J., « Graphique et mathématique. Généralisation du traitement graphique de l'information », *Annales E.S.C.*, janv.-févr. 1969, pp. 70-101.
- BERTIN J., VERGNEAULT F., « Traitement graphique d'une information : les marines royales de France et de Grande-Bretagne (1697-1747) », *Annales E.S.C.*, sept.-oct. 1967, pp. 993-1004 (utilisation du fichier-image).
- BRUNET R., « Les cartes des pentes », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 1963, n° 4, pp. 317-334.
- DUFOUR J., « Essai de réalisation d'un fichier-image des exploitations agricoles en gestion dans la Sarthe », in *La Pensée géographique française contemporaine*, Mélanges offerts au professeur A. Meynier, Presses Universitaires de Bretagne, 1972, pp. 493-513.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- GRONOFF J.-D., « La zone herbagère des Ardennes. Analyse typologique par matrice ordonnable », *Études rurales*, 1971, nos 43-44, pp. 170-214.
- GUY M., « Le premier symposium sur les ensembles de traitement d'information géographique », Ottawa, 28 sept.-2 oct. 1970, *Bulletin du Comité français de cartographie*, 1971, n° 1, pp. 287-296.
- RIMBERT S., *Leçons de cartographie thématique*, Paris, S.E.D.E.S., 1968, 139 p.
- RIMBERT S., « Essai méthodologique sur des stéréotypes régionaux au Canada », *Cahiers de Géographie de Québec*, déc. 1971, n° 36, pp. 523-536 (étude comparée de résultats obtenus à partir d'une méthode graphique et à partir d'une méthode statistique).
- VERHASSELT Y., « Essai de mise au point d'une méthode rapide de mesure des longueurs et des surfaces », *Travaux de l'Université libre de Bruxelles*, 1961, n° 1-4, pp. 131-144.

2. Cartographie automatique

- BRUNET Y., « Les migrations alternantes : le cas de la petite Bourgogne. L'influence des caractéristiques socio-économiques sur le comportement migratoire de la main-d'œuvre », *Revue de Géographie de Montréal*, 1971, n° 3, pp. 199-219 (utilisation du programme SYMAP).
- MIGNERON J.-G., « Cartographie automatique et traitement des données de planification », *Revue de Géographie de Montréal*, 1971, n° 4, pp. 359-371 (présentation du programme SYMAP, étudié au Laboratory for Computer Graphics de l'Université Harvard).
- RIMBERT S., « Vers une automatisation de la cartographie thématique », *Revue de Géographie de Montréal*, 1969, n° 2, pp. 187-193 (historique de l'automatisation en cartographie).
- STINE G. E., « Les systèmes d'automatisation employés en cartographie. Leur évolution. Les projets d'avenir », *Bulletin du Comité français de cartographie*, 1967, n° 3, pp. 239-247.
- La parution de l'« Atlas de la France rurale » est un exemple d'utilisation systématique de la cartographie automatique :

GRUPE DE SOCIOLOGIE RURALE, *Atlas de la France rurale*, Cahier de la Fondation nationale des Sciences politiques, Paris, A. Colin, 1967, 176 p. (présentation critique dans *Études rurales*, juill.-sept. 1967).

Les services administratifs adoptent progressivement ce mode de représentation des données statistiques (I.N.S.E.E., D.A.T.A.R., Ministère de l'Agriculture...). Voir notamment :

- DESPRE J.-F., JOLY R., « Représentation cartographique de la répartition régionale des données économiques », *Études et Conjoncture*, 1960, n° 12, pp. 1102-1109.
- GREINER P., « Méthode de représentation cartographique automatique sur ordinateur », *Statistique agricole*, supplément « série Études » n° 38, 1968, pp. 69-111.
- GREINER P., BOITARD, « Le programme de cartographie automatique du ministère de l'Agriculture », *Statistique agricole*, supplément « série Études », n° 95, janv. 1972, 59 p.
- « La cartographie automatique », *2000*, 1967, n° 3, pp. 16-19.

3. La cartographie d'utilisation du sol

- KLATZMANN J., *La Localisation des cultures et des productions animales en France*, Paris, Imprimerie Nationale, 1955, 477 p. (carte synthétique des types d'utilisation du sol).
- PERPILLOU A., « Essai d'établissement d'une carte d'utilisation du sol en France », *Acta Geographica*, n° 18, 1952, pp. 110-115 (présentation de la méthode; article réédité en 1963).

PERPILLOU A., « L'utilisation agricole du sol en France et les transformations des paysages ruraux », *Acta Geographica*, juin 1961, pp. 9-21 (étude de toutes les sources qui sont à l'origine de la carte).

Cet article contient également les références des analyses et commentaires des cartes d'utilisation du sol, établis entre 1953 et 1961 par P. Garenc, A. Perpillou, É. Juillard et P. Angrand.

La carte « Utilisation agricole du sol en France. Seconde moitié du xx^e siècle », réalisée par le Laboratoire de Géographie rurale de l'Institut de Géographie de Paris, dessinée et imprimée par l'Institut Géographique National, a été publiée par le Centre national de la Recherche scientifique en 1970.

La même méthode cartographique a été utilisée pour l'étude des structures agricoles :

BONNAMOUR J., BONTRON J.-C., MATHIEU N., « Évolution des structures agricoles en France. Essais de recherche méthodologique et cartographique », *Bulletin de l'Association des géographes français*, janv.-févr. 1969, pp. 291-309.

4. Procédés graphiques et cartographiques

Des essais d'expression cartographique seront trouvés dans l'*Atlas de Paris et de la région parisienne*, et dans les atlas régionaux, dont la présentation est faite par :

BEAUJEU-GARNIER J., « Atlas nationaux et atlas régionaux », *Bulletin du Comité français de cartographie*, 1967, n° 2, pp. 199-201.

La liste des atlas régionaux déjà parus est donnée dans :

BARRIER M., « La cartographie des réseaux de communication dans les atlas régionaux français », *Revue de Géographie de Montréal*, 1972, n° 1, pp. 105-113.

D'autres travaux d'analyse typologique ont généralisé l'emploi de quelques modes d'expression graphique :

— histogramme

BELLEVILLE G., *Morphologie de la population active à Paris*, Paris, A. Colin, 1962, 347 p.

BALLEY C., PINCHEMEL P., PUMAIN D., ROBIC M.-C., « Croissance urbaine et apports migratoires », in compte rendu du colloque organisé par le C.N.R.S., *L'Analyse interdisciplinaire de la croissance urbaine*, Toulouse, juin 1971, pp. 23-65.

— graphique triangulaire

FOURNIER P., « Répartition de la population active des départements français », *Acta Geographica*, sept. 1959, pp. 22-26.

GUIBOURDENCHE H., « Groupes d'âge et activités dans les régions de programme », *Aménagement du territoire et développement régional*, 1972, vol. V, pp. 279-341.

PINCHEMEL P., PUMAIN D., ROBIC M.-C., « Croissance urbaine et échanges migratoires. Contribution méthodologique », *Revue de Géographie alpine*, 1972, n° 2, pp. 203-224.

— silhouette

BONNAMOUR J., GILLETTE C., GUERMOND Y., « Typologie des systèmes d'exploitation agricole utilisés en France. Essai méthodologique », *Annales de Géographie*, n° 438, mars-avril 1971, pp. 144-166.

BONNAMOUR J., GILLETTE C., GUERMOND Y., « Les systèmes régionaux d'exploitation agricole en France. Méthode d'analyse typologique », *Études rurales*, 1971, n° 43-44, pp. 78-168.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- PIVETEAU J.-L., « Quelques aspects de la structure urbaine de la Suisse », *Cahiers de Géographie de Besançon*, 1966, n° 14, pp. 115-132.
- REYMOND H., « L'actualité des modèles graphiques en géographie humaine », *Cahiers de Géographie de Québec*, 1968, n° 3, pp. 177-216.
- graphique à deux coordonnées
- BENOIST J., « Évolution de la population cantonale régionale 1954-1962 », *Hommes et Terres du Nord*, 1964, n° 2, pp. 84-91.
- BENOIST J., « Évolution de la population des villes de la région du Nord 1954-1962 », *Hommes et Terres du Nord*, 1965, n° 1, pp. 72-78.
- GUIBOURDENCHE H., « Commentaires de cartes et graphiques sur les premiers résultats du recensement de 1968 dans les Alpes du Nord », *Revue de Géographie alpine*, 1970, n° 1, pp. 67-109.
- SCHULTZ J., « L'organisation urbaine entre Sète et le Rhône : démographie », *Bulletin de la Société languedocienne de Géographie*, oct.-déc. 1969, pp. 458-478.
- autres graphiques
- DUBOSQ P., « La mobilité rurale en Aquitaine. Essai d'analyse logique », *L'Espace géographique*, 1972, n° 1, pp. 23-42.
- DANIÈRE C., DUESSSET P., « Une carte nouvelle : le réseau urbain de la région Rhône-Alpes », *Revue de Géographie de Lyon*, 1970, n° 3, pp. 305-324.
- GREER-WOOTEN B., « Le système urbain », in *Montréal, guide d'excursions*, 22^e congrès international de géographie, Presses de l'Université de Montréal, 1972, pp. 157-169 (cartographie de flux).

Index

A

ABRAMSON N., 211.
absorption (modèles d'), 46.
ACKERMAN E. A., 314.
ACKOFF R. L., 30, 32.
agrégats, 159-160, 198-199.
ajustement de courbes, de surfaces, 46-47, 49, 88-89, 126-129, 152-153, 176-178, 236-237, 303-309, 314, 327-333.
ALEXANDER J. W., 87, 162, 167, 190-191, 194, 213.
ALEXANDERSSON G., 143-145, 151.
AMIRAN D. H. K., 15, 253.
analogies, 338-344.
ANDERSON M., 319.
ANDERSSON T., 43.
angulaires (unités), 321-322, 337.
anneaux (formation d'), 182-192.
APPLEBAUM W., 56.
arc-sinus (transformation), 321-322, 337.
association géographique (coefficient G d'), 263-265.
AUERBACH F., 116.
automatique (cartographique), 254-255.
axiomatiques (systèmes), 343-344.
AZEVEDO A. de, 182.

B

BACHI R., 259.
BACKE H., 190.
BACON F., 33.
BAILEY N. T. J., 70.
BAIN J. S., 154-155, 157-158.
BAKER O. E., 194.
banal (rapport spécifique), 150-151.
BARFORD B., 147.
BARROWS H. H., 22.
BARTHOLOMEW H., 182.
BASKIN C. W., 61, 137.
BECKERMAN W., 49.
BECKMANN M. J., 32, 55, 79, 116, 137, 141-142.
BEESLEY M., 160.
BERRY B. J. L., 29, 90-93, 97-98, 116, 118-122, 131-135, 137, 139, 143, 161, 176-178, 199-200, 218-225, 250-252, 274, 284-287, 319.
BERTALANFFY L. von, 27-28.
BIRCH J. W., 220.
BIRD J., 296.

BLUMENSTOCK D. I., 244.
BOARD C., 26, 179, 211, 224.
BOGUE D. J., 107-109, 145-147, 178-179, 277-278.
BORCHERT J. R., 87-88, 99-100.
BOUSTEDT O., 23.
BOWMAN I., 13, 68, 271.
BOX G. E. P., 302.
BOYCE R. B., 258.
BRACEY H. E., 123-124, 135, 142-143.
BRAMHALL D. F., 26.
Bravais-Pearson (coefficient de), 314-323.
BREISEMEISTER W., 26.
BRILLOUIN L., 15-16.
BROEK J. O. M., 18-19, 21.
BRONOWSKI J., 36.
BROOKS C. E. P., 242, 330.
BRUNHES J., 12, 22, 102.
BRUSH J. E., 104, 123-124.
BRYSON R. A., 327.
BUCHANAN, 96-97.
BUCHÉLE C., Jr., 63.
BUNGE W., 13, 21-23, 32-33, 42, 48-49, 70, 78-80, 133, 183, 203, 253-255, 257-258, 272, 289, 314, 338-339.
BURGESS E. W., 201-202.
BURGHARDT A. F., 261-262.
BURTON I., 150, 319.
BYLUND E., 111.

C

CAESAR A. A. L., 28.
CAIN S. A., 203.
CAPOT-REY R., 42.
CARELESS J. S. M., 115.
CAROE L., 303.
carrés latins, 338.
CARRIÈRE F., 150.
CARROTHERS G. P., 26, 45.
CARRUTHERS N., 242, 330.
cartographiques (méthodes), 239-255, 301-309.
centrale (caractéristiques de valeur), 258-259.
centralité (indice de), 267.
centrales (places), 102-103, 135-143, 338-339.
centuriation, 103.
CHAMBERLIN T. C., 313.
champs, 51-58.
CHAPIN F. S., Jr., 204.
CHISHOLM M. D. I., 52, 80-81, 114-115, 158, 179-182, 187, 189-190, 195, 199, 229, 231, 264.

INDEX

- CHORLEY R. J., 12, 14-19, 22, 26-34, 72, 206, 210-211, 220, 237, 274, 295-296, 301, 306-307, 320, 324, 338.
- CHRISTALLER W., 15, 26, 37, 52, 55, 61-62, 64, 103, 110, 116, 122-125, 130, 135-143, 314, 338-339.
- CLAESEN C. F., 280.
- CLARK A. H., 21, 67.
- CLARK C., 175, 177-178, 199, 246.
- CLARK P. J., 260-262.
- CLARK W. A. V., 258.
- CLAWSON M., 51, 53, 176-177, 199.
- COCHRAN W. G., 212, 216, 219.
- COHEN S. B., 56.
- COLWELL R. L., 226.
- combinaison (indice de), 248-250.
- complémentarité (modèles de), 50-51.
- composantes (cartes à une, à plusieurs), 241-251.
- composantes d'échelle (analyse en), 296-309.
- composantes principales (analyse en), 134-135, 251-253.
- concentration économique, 154-161, 198-199.
- concentriques (anneaux), 182-192.
- concentriques (modèles de croissance en zones), 201-202.
- connexité, 83-87, 267-268.
- contacts (nombre de), 62-63.
- COOLEY C. H., 82, 84.
- COPPOCK J. T., 211, 214-215, 227, 232.
- corrélation (calculs de), 87, 126-127, 131-132, 165, 193, 231-232, 264-265, 292-294, 314-319.
- COTTERILL C. H., 161-162, 167, 171-172.
- COULSON M. R. C., 242-243.
- COURT A., 259.
- couverture (problèmes de), 216-226.
- COXETER H. S. M., 59-61.
- croissance (modèles de), 200-204.
- CROWE P. R., 42.
- CUMBERLAND J. H., 26.
- CURRY L., 28, 38, 148-150.
- D
- DACEY M. F., 26, 28, 104-105, 132, 152-153, 261-262, 281-284.
- DÄHL S., 45.
- DANTZIG G., 79.
- DAVID H. A., 338.
- DAVIES O. L., 301, 320, 324, 327, 334, 337.
- DAVIS D. H., 55.
- DAVIS W. M., 42, 68, 212.
- définitions opérationnelles, 212-215.
- DEMANGEON A., 271.
- densité (gradients de), 107-109, 173-179, 199-200.
- densité des voies de communication (modèles de), 87-93.
- déterministes (modèles), 34-38.
- DICKINSON G. C., 213, 225.
- DICKINSON R. E., 28, 182, 194, 201-202.
- différenciation de l'espace, 20-21.
- diffusion (modèles de), 67-72, 93-100, 110-115, 199-204.
- discontinuités, 132-135, 179-182.
- discriminante (analyse), 280-281.
- dispersée (ville), 150.
- dispersion (caractéristiques de), 260.
- DUERR W. A., 52, 165.
- DUNCAN O. D., 211, 227-228, 232, 294, 319, 327.
- DUNN E. S., 48, 182, 186, 188.
- DURY G., 210, 320, 324.
- E
- échantillonnage (méthodes d'), 212, 216-225, 296-298, 334-338.
- échelle (problèmes d'), 294-309.
- écologique (école), 22.
- EDMONSON M. S., 68.
- ELLS W. C., 258.
- élimination des unités aberrantes, 233.
- ENKE S., 338.
- ensembles (théorie des), 23-25, 272-274.
- ERATOSTHÈNE, 216.
- espace à n dimensions, 284-287.
- espace de revenus, de population, 66-67.
- espacement et taille des unités d'habitat, 123-129.
- État isolé, 182-189.
- EVANS F. C., 260-262.
- exceptionnalisme, 12-13.
- EZEKIEL M., 327.
- expérience (plans d'), 334-338.
- F
- F (groupes), 318-319.
- factorielle (analyse), 134-135, 251-253.
- factoriels (plans, expériences), 334-338.
- FAGEN R. E., 27.
- FARMER B. H., 68, 114, 198.
- feedback (modèles de), 57-58.
- FENNEMANN N. M., 295.
- files d'attente (théorie des), 148.
- filtrage cartographique, 301-302.
- FISHER J. L., 27.
- FISHER R. A., 112, 244, 321, 323, 325, 329.
- FLEMMING N., 339.
- FLETCHER T. J., 272-273, 343.
- FLOOD M. M., 79.
- FLORENCE P. S., 156-160, 169, 198, 229.
- FOGEL R. W., 99.
- FOLGER J., 57.
- fonctionnelle (hiérarchie des unités de peuplement), 113, 131-143.

- FORGOTSON J. M., 246-247.
forme des champs, territoires, aires géographiques, 54-67, 255-258.
FOX J. W., 179.
FOX K. A., 327.
FREUD S., 37.
FRIEDRICH C. J., 154, 161, 164, 167.
« frontière », front pionnier, 67-68, 202.
frontières politiques (effets des), 55-56, 82.
fusil de chasse (méthode du), 314-319.
- G
- G (coefficient — d'association géographique), 263-265.
G (échelle), 15-19.
GALTON F., 36.
GARRISON W. L., 27, 29, 32, 79, 83-85, 97-98, 121, 131-133, 204, 266, 280, 303, 319, 339.
GAUSS (distribution de), 43, 320-322.
GEER S. de, 23.
géographie (définitions de la), 19-27.
géométrie (esprit — en géographie), 25-26.
GETIS A., 57, 65-67.
GIBBS J. P., 117-118, 127, 256-257.
GINSBURG N., 89-90, 212, 225, 250, 254, 265, 320.
GODLUND S., 68, 100, 270.
GOLDTHWAIT J. W., 147.
GOODRICH C., 50.
GOTTMANN J., 189, 194-195, 275.
GOULD P. R., 32-33, 38, 88-89, 93-96, 100, 195-198, 314.
gradients de densité, 175-179.
GRADMANN R., 13.
graphes (théorie des), 83-85, 266-269, 281-284.
gravitation (modèles de), 45-51.
GREEN F. W. H., 54.
GREEN H. L., 275-276.
GREENHUT M. L., 167-168.
GREGOR H. F., 211.
GREGORY S., 288, 290, 292, 310, 319-320, 324, 327-328.
GREIG-SMITH P., 104, 225, 250, 289, 320.
grilles cartographiques, 233-236, 244-245, 254-255.
GROTEWALD A., 187.
groupement des unités de collecte, 232-233.
groupements de population (taille des), 115-129.
GRYTZELL K. G., 215.
GULLEY J. L. M., 67.
GUNAWARDENA K. A., 11, 122-123, 131-133, 143.
- H
- habitat (répartition de l'), 102-115.
HÄGERSTRAND T., 18, 26, 38, 42, 44, 46-49, 57-58, 68-71, 96, 102, 112, 226, 339-340.
HAGGETT P., 14-19, 22, 26, 33-34, 72, 132-133, 174-175, 202, 204, 206, 211, 217, 220, 224-225, 232-233, 237, 274, 294-301, 303-307, 314-319, 321-322, 326, 331-338.
HAGOOD M. J., 289, 292-294.
HALL A. D., 27.
HALL P., 225.
HANNERBERG D., 42.
HANSON N. R., 12.
HARARY F., 281.
HARDY T., 143.
HARMAN H. H., 251.
HARRIS C. D., 48, 202-203.
HART J. F., 259.
HARTSHORNE R., 12, 20-23, 34, 216.
HAWLEY A. H., 22.
HEISENBERG W., 36.
HELD C. C., 189.
HELVIG M., 44-45, 49.
HETTNER A., 23.
hexagones, 59-67, 106, 135-142, 235-236, 338-339.
HIDORE J. J., 193.
hiérarchie fonctionnelle des unités de peuplement, 113, 131-143.
HIGHSMITH R. M., 216.
HJULSTRÖM F., 123.
HOLLOWAY J. L., Jr., 236.
HOOVER E. M., 23, 85-87, 154, 161, 182, 263.
HORTON R. E., 266.
HORVATH R. J., 203.
HOSKINS W. G., 114.
HOTELLING H., 32, 50, 338.
HOUSE J. W., 124-125.
HOUSTON J. M., 260.
HOWARD E., 59.
HOWE G. M., 23.
HOYT H., 202.
HOYT W. G., 225-226.
HUFF D. L., 48.
HUMLUN J., 194.
hypothèses en géographie humaine, 311-319.
- I
- identification des régions, 271-284.
incertitude (principe d'), 35-38.
innovation (ondes d'), 68-72, 96, 319.
INOUE S., 81, 114-115.
interaction (modèles d'), 41-51.
International Urban Research, 115-116, 213, 215.
interposées (occasions), 57.
irrégularité des unités spatiales de collecte, 226-237.
ISARD W., 23, 26, 32-33, 41, 44-45, 48-51, 57, 64-67, 106, 116, 147-148, 151, 154-155, 158, 161, 167-171, 182.

INDEX

isarithmes, 241-245.
 ISBELL E. C., 57.
 isolé (État), 182-189.

J

Jack Report, 52-53.
 JAMES P. E., 21, 67, 202, 271, 295-296.
 JEFFERS J. N. R., 321.
 JENKS G. F., 104, 181-182, 242-243.
 JENSEN M., 274.
 jeux (théorie des), 37-38, 195-198.
 JOERG W. L. G., 68.
 JOHNSON B. L. C., 234.
 JOHNSON H. B., 57, 104, 188.
 JOHNSON W. W., 258.
 JOHNSON O. H., 46.
 JONASSON O., 189-190.
 JONES E., 102, 109, 182.

K

k (fonctions), 135-143.
 KAHN R. S., 296, 310, 314, 320, 324.
 KAIN J. F., 42.
 KANSKY K. F., 26, 83-85, 100, 266-269, 274, 339-340, 344.
 KANT E., 46.
 KAO R. C., 277.
 KARIEL H. G., 50-51.
 KATES R. W., 37.
 KEEBLE D. E., 204.
 KENDALL M. G., 37, 211, 229, 232, 288, 292, 323.
 KEPLER J., 60, 62.
 KERSHAW K. A., 224-225, 289, 320.
khi-carré, 288-289.
 KIMBLE G. H. T., 271.
 KING L. J., 105-106, 128-129, 131, 220, 261, 321.
 KLAASEN L. H., 152.
 KOLLMORGEN W. M., 104, 181-182.
 KÖNIG D., 267.
 KOPEC R. J., 277-278.
 KÖSTLER J., 302.
 KRUMBEIN W. C., 212, 220-221, 236, 248, 255, 296, 298-299, 305-309, 321-322, 327, 334, 338, 343.
 KUENNE R. E., 147-148.
 KULLDORF G., 112.

L

LAGRANGE J. L., 42.
 LALANNE L., 73.
 LAMBERT J. M., 288-289.
 LANGBEIN W. B., 225-226, 342.
 LANGER S. K., 344.
 Laplace-Gauss (distribution de), 43, 320-322.

LAPLACE P., 34.
 LATHAM J. P., 226.
 LAUNHARDT W., 23.
 LEARMONTH A. T. A., 246.
 LE CHÂTELIER, 29.
 LEOPOLD L. B., 115, 266, 342.
 LEWIS W. V., 26.
 LINDBERGH O., 167.
 linéaire (programmation), 169-171.
 LINTON D. L., 295.
 localisation (école de la), 22-23.
 localisation (quotient de), 265.
 log-normale (distribution), 64-65, 118-122.
 LOPIK J. R. van, 226.
 LÖSCH A., 21, 23, 33-34, 37, 42, 55-56, 60-62, 64, 75-77, 96-97, 103, 106, 110, 116, 122-124, 128, 130, 134, 136-143, 188-189, 195, 325, 328, 338-339.
 LUTTRELL W. F., 169.

M

MACCANNELL E. H., 239.
 MACCARTY H. H., 160, 165, 230-231, 233, 264, 294, 311-313, 331.
 MACCASKILL M., 147.
 MACH E., 43.
 MACKAY J. R., 55-56, 244-245, 319.
 MACKENZIE R. D., 22, 199-200.
 MACKINDER H. J., 314.
 MACLAUGHLIN G. E., 294.
 MAHALANOBIS P. C., 285.
 Mann-Whitney (test de), 323, 325-327.
 MARBLE D. F., 97-98.
 MARCH J. G., 37.
 MARKOV (chaînes de), 38.
 MARSH G. P., 21.
 MARTHE F., 23.
 matières premières (indice des), 164-165.
 MAYFIELD R. C., 135.
 MEAD W. R., 81, 103, 198.
 MEINIG D. W., 35, 43, 82-83.
 MEITZEN A., 103.
 MELTON M. A., 334.
 mesure (niveaux de), 239-241, 322-324.
 MEYER J., 27.
 MEYNEN E., 216.
 MIEHLE W., 79.
 MIKESSELL M. W., 67.
 MILL J. S., 313.
 MILLER A. A., 21.
 MILLER R. L., 296, 310, 314, 316, 320, 324.
 minimisation de la distance ou du mouvement, 42-43, 74-81, 161-167, 182-192, 278-280.
 Ministère du Transport, 52-53, 96.
 MITCHELL J. B., 114.
 modèles (les — en géographie), 30-38.
 MONBEIG P., 77, 81, 202.

Monte-Carlo (méthodes de), 38, 69-72, 100, 112-113, 339-342.
 MORGENSTERN O., 37, 211-212.
 MORRILL R. L., 32-33, 35-36, 38, 88-89, 93-98, 100, 112-113, 203, 314, 340-342.
 MOSER C. A., 150.
 MOSES L. N., 27.
 MUENCH H., 133.
 multiplicateurs d'emplois, 147-148.
 MURRAY N., 229.
 MUTH R. F., 177.

N

NEFT D., 259-260.
 NETTLETON L. L., 302, 307.
 NEUMANN J. von, 37.
 NEWTON I., 12, 33-34, 36, 45.
 NEYMAN J., 38, 70, 339.
 nids (groupement des centres en), 138-139.
 nodales (régions), 28-30, 271.
 non conformistes (centres), 160-161.
 non paramétriques (tests), 320, 323, 325-327.
 NORDBECK S., 255.
 normale (distribution), 43, 320-322.
 NORMAN R. Z., 281.
 NOVALIS, 311.
 NYSTUEN J. D., 28, 97-98, 281-284.

O

obstacles à la diffusion, 71-72.
 occasions interposées, 57.
Office of Statistical Standards, 214.
 OHLIN B., 23, 190.
 OLSON E. C., 316.
 OLSON J. S., 296.
 ondes d'innovation, 68-72, 96, 319.
 optimisation (modèles d'), 37, 205-206.
 ordinateurs, 71, 254-255, 278, 342.

P

PAHL R. E., 22.
 paires fondamentales, 316-318.
 paires (comparaisons par), 338.
 PAL M. N., 246.
 PALANDER T., 23.
 PARETO V., 46-47, 49.
 PARK R. E., 56, 275.
 PARSONS J. J., 68.
 PASSARGE S., 21, 271.
 PATERSON J. H., 160, 178, 274.
 PATTISON W. D., 103.
 pavage (théorie du), 59-63.
 paysage (école du), 21.
 PEARSON K., 36, 292, 303, 314, 323.

PELTO C. R., 246-248.
 PERLOFF H. S., 26.
 PERRING F. H., 23, 234, 254.
 PETTIJOHN F. J., 255.
 peuplement (répartition du), 102-115.
 PFEIFER G., 103.
 PHILBRICK A. K., 28, 296.
 PICK G., 167.
 PINCHEMEL P., 150.
 places centrales, 102-103, 135-143, 338-339.
 PLANCK M., 36.
 plans de tendance (ajustement de), 303-305.
 PLATT R. S., 216, 224.
 Pléiades (méthode des), 314-319.
 polarisées (régions), 28-30, 271.
 polynucléaire (modèle de croissance), 202-204.
 PONSARD C., 23.
 POPPER K. R., 39, 311.
 populations géographiques, 210-215.
 PORTER P. W., 259, 262.
 POSTAN M., 12-13.
 POTTER P. E., 296.
 POUNDS N. J. G., 158.
 PRED A., 137, 139, 201.
 PREDÖHL A., 23.
 PRICE D. O., 27, 289, 292-294.
 primatale (distribution), 118-122.
 probabilistes (lois et modèles), 34-38, 69-72, 112-113, 120-121.
 programmation linéaire, 169-171.
 promenades aléatoires, 342-343.
 propositions (calcul des), 344.

Q

QUANT R. E., 78-79.
 QUENOUILLE M. H., 220.

R

rang (règle de la taille selon le), 115-123.
 RANZ H., 23.
 rattachement (problème du), 284-294.
 RATZEL F., 22.
 RAVENSTEIN E. G., 43-44.
 réaction (surfaces de), 174, 301-302.
 REED L. J., 133.
 réfraction des itinéraires, 75-77.
 régionale (science), 26-27.
 régionales (hiérarchies), 295-296.
 régionales (tendances), 294-309.
 régionaux (« liens »), 292-294.
 régression (analyse de), 46-47, 49, 88-89, 126-129, 152-153, 176-178, 236-237, 303-309, 314, 327-333.

INDEX

régression (cycles de), 311-314.
 REILLY W. J., 45-46.
 résidus (cartes de), 311-314, 332-333.
 ressources (effets de la localisation des), 109-110,
 161-172, 192-198.
 REYNOLDS R. B., 319.
rho (groupements), 317-318.
 ROBBINS L., 23.
 ROBINSON A. H., 228-229, 231, 235-236, 239,
 241, 243-245, 253-254, 303, 319, 327.
 ROBOCK S. F., 294.
 RODGERS A., 153, 158.
 ROGERS E. M., 68.
 ROSTOW W. W., 96, 99, 147.

S

SANDNER G., 114.
 satisfaction (modèles de), 37, 205-206.
 SAUER C. O., 13, 21, 25-26, 67, 193, 202-203, 271.
 SCHAEFER F. K., 13.
 SCHEIDEGGER A. E., 123.
 SCHICK A. P., 15, 253.
 SCHLUTER O., 21.
 SCHMID C. F., 239.
 SCHOOLER E. W., 27, 155, 158.
 SCOTT E. L., 38, 70, 339.
 SCOTT W., 150.
 SEARS F. W., 45, 75, 167.
 SEBESTYEN G. S., 280-281.
 secteurs péri-urbains, 108-109, 202.
 SEMPLE E. C., 22.
 seuils, 132-135, 179-182.
 Shimbel-Katz (indice de), 84-85.
 SIEGEL S., 239, 314, 320, 326-327.
 SIGWART, 12.
 SILK J. A., 79.
 similitude, 18.
 SIMON H. A., 37, 120-121.
 simulation, 38, 69-72, 100, 112-113, 338-344.
 SINNHUBER K. A., 275.
 SKELLAM J. G., 70.
 SKILLING H., 33.
 SLACK H. A., 298-299.
 SMAILES A. E., 135.
 SMITH W., 164-165.
 Snell (loi de), 75.
 sondage (méthodes de), 212, 216-225, 296-298,
 334-338.
 SORRE M., 22.
 SPATE O. H. K., 14, 319.
 SPEARMAN C., 292, 314, 323.
 SPECHT R. E., 77.
 spécialisés (centres), 143-153.
 spécifique (rapport — banal), 150-151.
 SPENCER J. E., 203.
 STAFFORD H. A., Jr., 131.
 STAMP L. D., 271.

STANISLAWSKI D., 67.
 STEIN S. J., 202.
 STEVENS B. H., 38.
 STEWART C. T., Jr., 116-118.
 STEWART J. Q., 46, 260.
 stochastiques (lois et modèles), 34-38, 69-72,
 112-113, 120-121.
 STODDART D. R., 15-19, 22, 301.
 STOUFFER S. A., 33, 57.
 STRAHLER A. N., 320.
 Student (test de), 323-325, 329.
 substitutions, 96-99, 168-172, 194-198.
 superposition de limites, 274-276.
 surfaces de tendance, 236-237, 301-309.
 SVIATLOVSKY E. E., 258.
 systèmes, 27-34, 41, 98.

T

TAAFFE E. J., 32-33, 88-89, 93-96, 100, 278, 314.
 taille (règle de la — selon le rang), 115-123.
 taille et espacement des unités d'habitat, 123-
 129.
 taxonomie, 272.
 tendance (surfaces de), 236-237, 301-309.
 territoires, 58-67, 226-237.
 tests statistiques, 319-338.
 THATCHER W. S., 211.
 THEODORSON G. A., 22, 54.
 Thiessen (polygones de), 109, 235-236, 277-278.
 THOMAS D., 248-250.
 THOMAS E. N., 125-128, 312-313, 321, 332.
 THOMAS F. H., 80.
 THOMAS W. L., Jr., 21, 30, 49, 52, 103, 202.
 THOMPSON D'ARCY W., 18, 33, 42, 61.
 THOMPSON J. W., 250-253, 293.
 THOMPSON W. R., 231, 265.
 THÜNEN J. H. von, 23, 32, 37, 42, 52, 75, 111,
 175, 182-195, 200-202.
 TOBLER W. R., 66-67, 234, 254, 281.
 topologie, 24-25, 78-80, 83-85, 266-269.
 TOULMIN S., 207.
township and range, 65, 103-104.
 transformations algébriques, 321-322, 337.
 transformations cartographiques, 65-67.
 treillis, 102-110, 135-137, 244-245.
 triangulaires (graphiques), 246-248.
 TROXEL E., 190, 192.
 TURNER F. J., 67-68.
 TWAIN M., 13.

U

UKWU U. I., 11.
 ULLMAN E. L., 49, 51-52, 80, 132, 152-153, 202-
 203, 266.
 Union géographique internationale, 81, 114-115,
 203.

unités spatiales de collecte des données, 226-237, 264.
 UNSTEAD J. F., 295.
 utilisation du sol (zones d'), 173-206.

V

VAHL M., 194.
 VAJDA S., 171, 198.
 VALKENBURG S. van, 189.
 VALVANIS S., 137.
 valeur centrale (caractéristiques de), 258-259.
 VANCE J. E., Jr., 51, 53, 56, 77.
 variance (analyse de), 289-291, 298-301, 334-337.
 Venn (diagrammes de), 24-25, 272-274.
 VIDAL DE LA BLACHE P., 12-13, 18-19, 22, 275, 311.
 VINING R., 23, 28, 48, 141.
 voies de communication (densité des), 87-93.
 voies de communication (localisation des), 35, 43, 74-87.
 voisinage (analyse du plus proche), 104-106, 260-262.

W

WAIBEL L., 188, 198, 202.
 WALTERS S. M., 23, 234, 254.
 WARTZ W., 48, 73, 242, 259-260.
 WATSON J. W., 23.
 WEAVER J. C., 233, 248, 254.
 WEBB W. P., 67, 114.

WEBER A., 23, 32, 37, 130, 154, 161-168, 182, 311.
 WEISS S. F., 204.
 WELLINGTON A. M., 74-75.
 WHITTEN E. H. T., 237, 307.
 WHITTLESEY D., 271-272, 295-296.
 WILLIAMS W. T., 288-289.
 WINSBOROUGH H. H., 176.
 WISE M. J., 160.
 WOLFE R. I., 82.
 WOLPERT J., 37, 205-206.
 WOOD W. F., 222.
 WOODWARD M. I. J., 98-99.
 WOOLDRIDGE S. W., 12, 26, 271.
 WOOLF H., 11.
 WRIGLEY E. A., 274.
 WYNNE-EDWARDS V. C., 59.

Y

YATES F., 112, 216, 220, 244, 321, 325, 329, 337.
 YEATES M., 48, 270, 278-280.
 YUILL R. S., 71-72.
 YULE G. U., 121.

Z

ZEMANSKY M. W., 45, 75, 167.
 ZIPF G. K., 33, 42, 44-46, 117-118.
 ZOBLER L., 290-291, 319.

Table des matières

PRÉFACE	5
AVANT-PROPOS	9
1. GÉNÉRALITÉS	11
1. <i>A la recherche de l'ordre</i>	12
Les traditions exceptionnalistes en géographie	12
Échelle et théorie	14
2. <i>La géographie</i>	19
Les conceptions de la géographie	20
La différenciation de l'espace, 20. — L'école du paysage 21. — L'école écologique, 22. — L'école de la localisation, 22.	
Essai d'intégration par la théorie des ensembles	23
L'abandon de l'esprit géométrique en géographie	25
Science régionale et géographie	26
3. <i>Systèmes et modèles</i>	27
La géographie humaine et la théorie générale des systèmes	27
La nature des systèmes, 27. — Les régions polarisées (ou nodales) en tant que systèmes ouverts, 28.	
La construction de modèles en géographie humaine	30
Les types de modèles, 30. — Les techniques de construction de modèles, 32. — Le rôle des modèles, 33.	
4. <i>Déterminisme et probabilisme</i>	34
L'abandon du déterminisme en géographie humaine	34
Lois normatives et lois probabilistes	36
L'incidence du principe d'incertitude, 36. — L'apparition des modèles stochastiques, 37.	

PREMIÈRE PARTIE :

LES MODÈLES DE STRUCTURE DES LOCALISATIONS	39
2. LES MOUVEMENTS	41
1. <i>Mouvement et morphologie</i>	42
2. <i>Mouvement et distance : le concept d'interaction</i>	43
Études régionales des taux de décroissance	44
Les modèles élémentaires d'interaction	45
Les modèles déductifs : analogies avec la gravitation et l'absorption, 45. — Les modèles inductifs : ajustement de courbes, 46.	

TABLE DES MATIÈRES

Les modèles d'interaction modifiés	47
Difficultés du modèle de gravitation, 47. — Affinements du modèle de gravitation, 49.	
3. <i>Mouvement et surface : les concepts de champ et de territoire</i>	51
Les aires continues de mouvement : le concept de champ	51
La taille des champs, 51. — La forme des champs, 54.	
Les aires limitées de mouvement : le concept de territoire	58
Théorie élémentaire du pavage, 59. — Études régionales de pavages, 61. — Les modifications du modèle hexagonal, 64.	
4. <i>Mouvement et temps : le concept de diffusion</i>	67
Études régionales de diffusion	67
Les modèles de diffusion	68
Les modèles inductifs, 68. — Les modèles stochastiques, 69.	
3. LES RÉSEAUX	73
1. <i>La localisation des voies de communication</i>	74
La localisation de la voie isolée	74
Les déviations positives, 74. — Les déviations négatives, 75.	
La localisation des réseaux de voies	78
Les concepts de distance minimale, 78. — Les applications pratiques des plans de réseau optimal, 79. — Les facteurs politiques, 82.	
Les effets de la géométrie des réseaux	83
2. <i>La densité des réseaux de voies</i>	87
Le niveau local	87
Le niveau régional	88
Le niveau international	89
3. <i>Les modèles de transformation des réseaux</i>	93
Le développement des voies de communication dans les régions sous-développées	93
Exposé du modèle, 93. — Validité du modèle, 95.	
Les substitutions de voies de communication dans les régions développées	96
Recherche d'un modèle, 96. — Les effets des substitutions, 97.	
Le développement des voies de communication et les modèles de diffusion	99
4. LES NŒUDS	101
1. <i>La morphologie de l'habitat</i>	102
La répartition de l'habitat en treillis réguliers	102
Les données qualitatives, 103. — Les données quantitatives, 104.	
La répartition irrégulière de l'habitat	106
Effets de distorsion dus à la présence d'un centre urbain, 106. — Effets de distorsion dus à la localisation des ressources, 109.	
Effets de distorsion dus à l'évolution historique	110
Les modèles d'évolution de l'habitat dans le temps, 110. — Les schémas de diffusion observés, 114.	

2. <i>Les groupements de population : la distribution des tailles</i>	115
Les relations entre le rang et la taille	116
Caractère général de la liaison : distributions log-normales	118
La forme de la distribution, 118. — L'interprétation des formes de la liaison entre taille et nombre des localités, 120.	
La partie inférieure de la distribution : un problème non résolu	122
3. <i>La taille et l'espacement des groupements</i>	123
L'espacement de groupements discrets	123
L'espacement, fonction continue	125
La définition de l'espacement, 125. — L'espacement et la taille des groupements 126. — L'espacement, fonction complexe, 128.	
5. LES HIÉRARCHIES	130
1. <i>Les hiérarchies fonctionnelles des unités de peuplement</i>	131
La taille et la fonction des groupements	131
Les liaisons continues entre taille et fonction, 131. — Les liaisons discontinues : le problème des seuils, 132.	
Treillis et fonctions k	135
Les hiérarchies de places centrales	137
La hiérarchie à indice fixe de Christaller, 138. — Les hiérarchies à indice variable de Lösch, 139. — Les valeurs de k : observations empiriques, 142.	
2. <i>La place des centres spécialisés dans la hiérarchie</i>	143
Le concept de spécialisation	143
Les observations de concordance	145
La concordance dans l'espace, 145. — La concordance dans le temps, 147.	
Les problèmes de discordance	148
La spécialisation des centres : problèmes théoriques, 148. — La spécialisation des centres : problèmes de définition, 150.	
3. <i>Les distorsions dues aux dimensions des établissements</i>	154
La taille des établissements	154
La concentration des établissements en « agrégats » régionaux	159
Foyers aléatoires : le problème des centres « non conformistes »	160
4. <i>Les distorsions dues à la localisation des ressources</i>	161
La minimisation du mouvement : l'analyse de Weber	161
La minimisation du mouvement dans un cas comportant deux points, 162. — La minimisation du mouvement dans un cas comportant n points, 166. — Critique de la méthode de minimisation du mouvement, 167.	
Les irrégularités de l'espace de localisation	168
Les substitutions locales d'« inputs »	168
Un exemple théorique de substitution, 169. — Un exemple concret de substitution, 171.	
6. LES SURFACES	173
1. <i>Surfaces et gradients</i>	174
La nature des surfaces	174

TABLE DES MATIÈRES

Les pentes : gradients de densité.	175
Les pentes dans les zones urbaines, 175. — Les pentes dans les zones rurales, 178.	
Les discontinuités : zones d'utilisation du sol	179
2. <i>Les modèles de mouvement minimal</i>	182
La minimisation du mouvement : l'analyse de Thünen.	182
Les relations géométriques fondamentales, 183. — La formation d'anneaux, 183. — L'État isolé de Thünen, 187.	
Critique des modèles de mouvement	189
L'évolution des coûts de mouvement, 189. — Les modifications des relations entre la distance et le mouvement, 190.	
3. <i>Les distorsions de gradients réguliers</i>	192
Les distorsions dues à la localisation des ressources	192
La variabilité des ressources, 192. — Les substitutions d'« inputs » de ressources, 194.	
Les distorsions dues à la concentration	198
Les distorsions dues à l'évolution dans le temps.	199
L'évolution des pentes, 199. — L'évolution des zones et secteurs, 200.	
Les distorsions dues au comportement sub-optimal	205

SECONDE PARTIE :

LES MÉTHODES	207
7. LA COLLECTE DES DONNÉES	209
1. <i>Les populations géographiques</i>	210
Les sources d'information géographique.	210
La définition des populations géographiques.	211
Définitions opérationnelles	212
Nature du problème, 213. — Tentatives de solution, 214.	
2. <i>Les problèmes de « couverture »</i>	216
Solution indirecte : les sondages	216
La taille de l'échantillon, 217. — Quelques types de plans de sondage, 219. — Diverses unités de sondage possibles, 224.	
Solution directe : la couverture exhaustive	225
3. <i>L'irrégularité des unités spatiales de collecte</i>	226
La distorsion des mesures de localisation	227
Les effets sur les comparaisons entre régions, 227. — L'ampleur des variations, 230.	
La normalisation des unités spatiales de collecte : types de solution	231
La pondération par les surfaces, 231. — Le groupement d'unités de collecte, 232. — L'élimination des unités de collecte aberrantes, 233. — L'emploi de grilles, 233. — L'ajustement de surfaces, 236.	
8. LA DESCRIPTION	238
1. <i>La description de la localisation absolue : les systèmes cartographiques</i>	239
Niveaux de mesure et cartographie	239

Les cartes à composante unique : surfaces définies par des isarithmes	241
Le nombre des isarithmes, 242. — L'espacement des isarithmes, 242. — La disposition des points directeurs, 244.	
Les cartes à plusieurs composantes	246
Les graphiques triangulaires, 246. — L'indice de combinaison, 248. — La réduction des composantes, 250. — L'analyse en composantes principales ou analyse factorielle, 251.	
Les problèmes de la description cartographique	253
Les cartes comme système de stockage de données, 253. — Autres systèmes de stockage de données : la cartographie automatique, 254.	
2. <i>La description de la localisation relative : les indices statistiques</i>	255
Les aires contiguës	255
La description de la forme, 255. — Les caractéristiques de valeur centrale et de dispersion, 258.	
Les points et les aires discontinues	260
L'analyse du plus proche voisinage, 260. — Les indices d'association géographique, 263.	
Les réseaux de lignes	265
L'analyse des dimensions, 265. — Caractéristiques topologiques fondées sur la théorie des graphes, 266.	
9. LA DÉFINITION DES RÉGIONS	270
1. <i>Le problème de l'identification des régions</i>	271
Le concept de région	271
Les régions, problème taxonomique, 272. — Les régions et la théorie des ensembles, 272.	
L'analyse qualitative : les superpositions de limites	274
L'analyse quantitative	277
Les polygones de Thiessen, 277. — La minimisation de la distance, 278. — L'analyse discriminante, 280. — L'interprétation des régions par la théorie des graphes, 281.	
2. <i>Les problèmes de rattachement</i>	284
Les méthodes générales de classification	284
L'analyse de la distance dans un espace à n dimensions, 284. — L'emploi de la variable khi-carré (χ^2) dans les classifications, 288.	
Le rattachement d'unités spatiales à des groupements régionaux.	289
L'analyse de variance, 289. — La corrélation et les « liens » régionaux, 292.	
3. <i>Les problèmes d'échelle</i>	294
La nature du problème de l'échelle	294
L'échelle dans les hiérarchies régionales.	295
L'analyse en composantes d'échelle : les méthodes d'échantillonnage	296
L'échantillonnage à plusieurs degrés, 296. — L'analyse de variance des résultats, 298.	
L'analyse en composantes d'échelle : les méthodes cartographiques	301
Le filtrage cartographique, 301. — Les plans de tendance, 303. — Les surfaces quadratiques et d'ordre supérieur, 305. — Le choix d'une méthode, 307.	
10. LA VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES	310
1. <i>Les hypothèses en géographie humaine</i>	311

TABLE DES MATIÈRES

Les modèles de vérification d'hypothèses	311
Les origines des hypothèses : la méthode du « fusil de chasse » ou des « Pléiades »	314
2. <i>Les tests statistiques</i>	319
Les difficultés d'application des tests statistiques	320
La nature des distributions géographiques, 320. — Le niveau de mesure des données, 322.	
Les tests de comparaison simples	324
Premier exemple : la comparaison de moyennes, 324. — Deuxième exemple : la comparaison de rangs, 325.	
Les comparaisons de tendances	327
Troisième exemple : l'analyse de régression simple, 327. — Quatrième exemple : l'analyse de régression multiple, 330.	
Les plans d'expérience	334
Cinquième exemple : les expériences factorielles, 334.	
3. <i>Les vérifications par analogies</i>	338
La simulation par analogie avec des phénomènes physiques	338
Les méthodes de simulation de Monte-Carlo	339
La simulation logique : les systèmes semi-axiomatiques	343
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	345
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE	359
INDEX	377

Berger-Levrault, Nancy. — 778649-4-1973

Dépôt légal : 2^e trimestre 1973

n° A. Colin : 6274

Cet ouvrage est publié dans la collection « U », série « Géographie », que dirige Philippe Pinchemel, Professeur à l'Université de Paris I.

Récemment paru dans cette série :

Brian J.L. Berry : *Géographie des marchés et du commerce de détail*. U2 n° 188.

Sous l'impulsion de géographes et d'économistes, anglo-saxons et suédois notamment, les méthodes d'analyse de l'espace se sont profondément modifiées depuis une trentaine d'années. L'emploi de techniques mathématiques a fait naître un courant de pensée et de recherche novateur.

A la géographie collectrice de faits, ces recherches substituent une « nouvelle géographie », théorique, déductive, identifiant des structures spatiales et dégagant des modèles d'organisation territoriale.

Cet ouvrage, traduit de l'anglais, regroupe en les ordonnant des idées dispersées jusque-là dans de nombreuses et souvent obscures publications. La première partie décrit les principaux modèles théoriques, tant classiques, comme ceux de Thünen, Weber, Christaller et Lössch, que modernes, tels ceux de Isard, Garrison, Berry et Hägerstrand et insiste sur la symétrie géométrique discernable à l'intérieur des systèmes régionaux. Les techniques quantitatives au service de l'analyse spatiale sont présentées dans la seconde partie, qui comporte un chapitre spécial sur le délicat problème de la définition des régions.

La bibliographie de plus de 450 références, datant de la première édition anglaise de l'ouvrage en 1965, a fait l'objet d'un complément qui met particulièrement l'accent sur les publications récentes de langue française.