



HAL
open science

Quelques réflexions sur l'usage des mathématiques en géographie

Denise Pumain

► **To cite this version:**

Denise Pumain. Quelques réflexions sur l'usage des mathématiques en géographie. *Echo des Mes-*
saches, 1988. halshs-01565216

HAL Id: halshs-01565216

<https://shs.hal.science/halshs-01565216>

Submitted on 19 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MATHEMATIQUES ET SCIENCES HUMAINES: HEURS ET MALHEURS (1960-1980)

Journée d'études organisée par la Société Française pour l'Histoire des Sciences de l'Homme, 16 janvier 1988.

QUELQUES REFLEXIONS SUR L'USAGE DES MATHEMATIQUES EN GEOGRAPHIE

Denise PUMAIN (Université de Paris XIII; INED)

Il existe déjà plusieurs bilans des transformations intervenues dans la géographie française au cours des vingt dernières années du fait de l'usage largement accru des mathématiques (cf. bibliographie). Nous nous contenterons donc de rappeler ici la spécificité des besoins de la géographie, en fonction des questions qu'elle se pose et des données qu'elle utilise, en résumant très rapidement le contenu de la "révolution quantitative" en France. Nous développerons ensuite quelques hypothèses pour l'interprétation des succès inégaux de cette entreprise.

1- UNE REVOLUTION DOUCE

Depuis que la "géographie mathématique" du XIXème siècle et du début du XXème, pratiquée surtout il est vrai par des ingénieurs en géodésie et des cartographes, s'est séparée de la discipline universitaire, on note quelques cas isolés de chercheurs utilisant les techniques statistiques, voire des modèles mathématiques, en géographie. Mais la véritable ouverture de la géographie française à un usage plus général des mathématiques attendra le début des années 1970, c'est-à-dire aussi l'arrivée des ordinateurs.

1-1 UN PROCESSUS DE DIFFUSION?

Si l'on analyse le développement de cette "nouvelle géographie" en termes de diffusion d'une innovation, logiquement apparue dès les années 50 dans un pays -les Etats-Unis- où face à l'ampleur d'une demande opérationnelle, la structure du peuplement et le statut des recherches universitaires joints à la disponibilité précoce des ordinateurs favorisaient l'élaboration de modèles de localisation applicables, la France semble en position normale dans le processus de diffusion géographique qui s'est ensuivi: après la Grande-Bretagne, où la communauté de langue a favorisé une adoption précoce et une diffusion rapide et massive, opérée partiellement au prix d'un drainage de cerveaux; à peu près en même temps que l'Allemagne et l'Italie, mais avant l'Espagne et le Portugal, ce qui reflète bien la hiérarchie antérieure des écoles de géographie sur le Vieux Continent.

L'analogie avec un processus classique de diffusion s'arrête aux frontières de la France: à l'intérieur au contraire, l'innovation s'est heurtée à la résistance des niveaux supérieurs de la hiérarchie, elle l'a contournée et prise à revers au lieu de l'utiliser. Ainsi, ce sont d'abord des Francophones ou des Français séjournant hors de leur pays qui ont pratiqué et fait connaître la géographie quantitative: du Québec, de Belgique, de Suisse... ont convergé les écrits et la parole des conférenciers qui devaient donner leur premier choc révélateur aux enseignants et chercheurs fraîchement recrutés du début des années 70. Ce sont en effet ces jeunes débutants qui ont assuré le développement des méthodes nouvelles et non les brillants ténors de la géographie en place. On pourrait encore, en exagérant à peine, illustrer cette idée d'une pénétration "à la marge et par en bas" de la nouvelle géographie en rappelant que les Provinciaux y ont dans l'ensemble plus mordu que les Parisiens, que l'Université y a largement précédé le CNRS, que la géographie humaine s'y est ouverte bien avant la géographie physique, et que les femmes y ont eu une part importante, sans commune mesure avec leur taux de représentation dans le corps des géographes...

Enfin, ce qui a diffusé en France de la "nouvelle géographie" à partir des pays anglo-saxons est plutôt un ensemble de théories et de modèles géographiques. Les géographes français ont en revanche largement trouvé sur place les éléments de théorie mathématique, les méthodes, les techniques et les logiciels dont ils avaient besoin. Ils sont redevables pour une bonne part à des mathématiciens, statisticiens et informaticiens qui avaient compris l'enjeu représenté par les sciences humaines et qui se sont dévoués à l'enseignement et à la diffusion de ces méthodes.

1-2 UNE REVOLUTION ATTENDUE

Les géographes s'intéressent à la différenciation et à l'organisation des lieux à la surface de la terre. Ces répartitions ont suscité plusieurs types d'interrogation, récurrentes selon les écoles géographiques et les moments: relations entre les sociétés humaines et le milieu naturel, logique des arrangements dans l'espace de divers phénomènes localisés, constitution d'entités spatiales à différentes échelles, dynamiques des formes territoriales...

Toutes ces approches s'appuient en général sur une information très variée, faisant appel à des disciplines diverses, qu'il s'agit de condenser pour caractériser les différents lieux. Les géographes ont donc besoin des mathématiques, pour mieux maîtriser la masse très importante des données localisées qu'ils mobilisent. Ce besoin, même non exprimé, est latent dans la plupart des travaux de la géographie régionale dite "classique", de la première moitié du XXème siècle, qui contiennent beaucoup de chiffres, souvent assez difficilement exploités.

Ce besoin de techniques de traitement de l'information plus rigoureuses et plus puissantes s'est trouvé renforcé après 1950 pour deux raisons: d'une part la masse des informations localisées mise à la disposition des chercheurs a brusquement augmenté, d'autre part et surtout la perception d'une accélération du changement dans les répartitions territoriales et l'intérêt croissant pour ce changement ont rendu plus urgent un

progrès dans la maîtrise de cette information. La diffusion des ordinateurs dans les universités qui s'est produite à la même époque en a été le soutien probablement indispensable.

L'introduction des mathématiques en géographie a permis de répondre à un autre besoin: celui de substituer une méthode plus formelle et des procédures d'analyse répétées, à une démarche restée jusque-là assez floue. De nombreux chercheurs ont ressenti la nécessité de compléter la "vision du monde" et le "regard sur le terrain" invoqués par la tradition, en recourant à des hypothèses explicites et à leur test, en utilisant des modèles, en formulant des théories dans un langage mathématique, voire en recherchant les voies possibles d'une axiomatique.

Plusieurs circonstances ont favorisé l'expression de ce besoin, et sans refaire toute l'histoire de la géographie contemporaine, on peut rappeler quelques-unes des hypothèses qui ont été avancées pour expliquer le succès de ces nouvelles interrogations:

- la problématique des rapports entre les sociétés et le milieu connaissait un certain vide théorique, du fait de l'accusation de déterminisme posée à son encontre;
- le champ d'étude s'est déplacé, des relations "verticales" entre milieu physique et événements accumulés en un même lieu, vers des relations "horizontales", régularités de l'espace et de la disposition relative des objets géographiques;
- la contestation d'une approche jugée trop "naturaliste", morphologique et paysagère, et la volonté d'élargir les recherches en les ouvrant aux questions des théories économiques et sociales, la prise en compte réfléchie de l'intervention des idéologies et de la subjectivité dans l'organisation des phénomènes territoriaux et dans les travaux des géographes, ont fait éclater le champ thématique de la discipline;
- peut-être les enseignants brusquement confrontés à un public étudiant élargi et à la nécessité d'inventer des travaux pratiques en géographie humaine, donc de transmettre explicitement un savoir-faire en même temps qu'un savoir, étaient-ils encore plus contraints que les chercheurs à l'explicitation des théories et des méthodes de la géographie.

1-3 UNE REVOLUTION SANS RUPTURE

Aux Etats-Unis ou en Grande-Bretagne, l'affirmation de la "New Geography" s'est bien souvent traduite par des prises de position en rupture d'avec la géographie classique et par une attitude conquérante et une institutionnalisation du mouvement quantitativiste (par exemple avec la création du "Quantitative Study Group" au sein de l'Institute of British Geographers). Ces excès ont suscité en une réaction tout aussi intransigeante le développement de la "géographie radicale" et de la "géographie humaniste" dès le début des années 1970. En France, la révolution quantitative dans les pratiques de la géographie s'est opérée sans véritable rupture.

Pourtant, la diffusion y a été assez rapide: en moins de dix ans, l'enseignement des techniques statistiques est devenu obligatoire dans tous les cursus du 1er cycle, la plupart des grandes universités proposent aujourd'hui en option des cursus complets spécialisés dans l'apprentissage des méthodes quantitatives,

pratiquement tous les laboratoires se sont équipés de matériel informatique et de logiciels pour le stockage, le traitement et la cartographie des données géographiques. Si les manuels spécialisés sont encore peu nombreux, des collections ont été ouvertes pour la publication d'ouvrages de recherche, et depuis longtemps les revues nationales et régionales ont accepté de diffuser un grand nombre d'applications. Quelques revues spécialisées ont été lancées. Les bilans établis à l'occasion du Congrès International de Géographie tenu à Paris en 1984 témoignent entre autres de ce succès.

L'habitude de discussions scientifiques plutôt feutrées a conduit en France à une "révolution douce" en matière de géographie théorique et quantitative. La résistance de la hiérarchie universitaire a été suffisamment forte pour empêcher une réelle institutionnalisation du mouvement comme en Grande-Bretagne. Mais la relative souplesse du système français a sans doute évité que le carcan de la hiérarchie n'use la persévérance des innovateurs, comme cela semble avoir été le cas en Allemagne par exemple.

Pour une bonne part, la diffusion s'est effectuée grâce aux rencontres successives -bien souvent à l'occasion de stages de formation en mathématiques- d'un groupe d'une centaine de personnes qui, pour être informel, n'en est pas moins remarquablement connecté. L'importance de ce réseau, la qualité de l'information qu'il véhicule et sa bonne convivialité font parfois la surprise des chercheurs d'autres disciplines ou de pays étrangers. Il fonctionne cependant bien davantage comme un lieu d'échanges scientifiques que comme un groupe de pression organisé au sein de la discipline. C'est en majorité sur l'existence de ce groupe que se sont appuyés les programmes du GIP RECLUS qui ont entrepris depuis 1982 la réalisation collective d'un Atlas de France et d'une troisième édition de la Géographie Universelle.

La tranquillité de la révolution n'a pas que des causes institutionnelles, elle a aussi des origines de nature scientifique qui expliquent l'absence d'une volonté de rupture totale d'avec la tradition, même pour ses tenants les plus convaincus, et qui se traduisent par une large diversité d'opinions quant aux objectifs à atteindre. Si les critiques à l'égard de la géographie classique ont été parfois très dures, la condamnation n'a jamais été totale. Au contraire, et même parmi les tous premiers innovateurs, s'est manifestée une volonté explicite d'enraciner les nouvelles démarches dans la tradition géographique française. C'est que, loin d'être une "science molle", la discipline à son meilleur était une solide construction intellectuelle, d'inspiration naturaliste ou historisante, d'une qualité incontestable pour la mise en valeur des entités paysagistico-régionales.

Nourris de cette riche culture, les "nouveaux géographes" ont été soucieux de la nécessité de préserver cet acquis, tout en étant conscients aussi de la lourdeur du détour qu'ils s'imposaient pour formaliser et expliciter leur démarche: les premières applications d'analyses statistiques ou de modèles mathématiques au début des années 70 livraient certes des résultats rigoureux et reproductibles, mais quelque peu simplistes ou dérisoires face aux brillantes synthèses que les meilleurs des géographes "classiques" continuaient d'élaborer. Plus importante encore pour expliquer l'attitude nuancée des Français face à un engagement

résolument "néo-positiviste" est, chez un grand nombre, la sensibilité à la philosophie "critique" ou à l'idéologie marxiste. Certaines prises de position positivistes "réductrices" affirmées outre-atlantique étaient d'emblée impensables dans une France qui venait de vivre 1968, et où une bonne partie des géographes engagés dans la nouvelle géographie l'étaient aussi politiquement à gauche. Il est d'ailleurs symptomatique que les tenants de la géographie marxiste et de la géographie "sociale" n'aient jamais véritablement récusé l'emploi des mathématiques, sinon comme méthode de formalisation, du moins en tant que technique d'analyse. Le débat majeur a porté essentiellement sur le problème de "l'autonomie de l'espace", ou de la primauté du social sur les formes spatiales qui n'en seraient que la "projection". Des concepts plus élaborés de "production de l'espace" et l'accent mis sur les interactions entre société et espace ont permis de dépasser ce faux problème.

2- DES USAGES ORIENTES PAR LA GEOGRAPHIE

Les mathématiques ont incontestablement transformé les pratiques des géographes au cours des trente dernières années. La comparaison avec les usages qu'en font d'autres disciplines révèle des spécificités propres aux besoins des géographes.

2-1 D'ABORD L'ANALYSE DES DONNEES

C'est en tant qu'outil de description que les techniques statistiques ont reçu le plus d'attention de la part des géographes. La statistique descriptive, et surtout les analyses multivariées, sont devenues d'emploi courant dans toutes les branches de la discipline. Les techniques d'analyse factorielle (analyse en composantes principales et analyse des correspondances) et les techniques de classification automatique se sont banalisées, soit comme techniques exploratoires, soit en tant qu'outils privilégiés pour l'établissement de typologies, soit comme instruments de la réduction de l'information préalable à sa représentation cartographique. Les analyses multivariées ont permis de renouveler les bases de certaines classifications, par exemple pour les types d'agriculture ou les fonctions urbaines, ou encore en climatologie fréquentielle.

De nombreuses critiques ont été adressées à ce type d'analyse, pour des malentendus quant à leur bon usage qui ne sont sans doute pas propres à la géographie. Comme très peu de géographes français se sont aventurés dans une analyse de type structural des facteurs (par exemple en écologie urbaine), les controverses ont moins porté sur l'utilisation théorique abusive de ces techniques qu'au contraire sur la minceur conceptuelle de la plupart des résultats. Beaucoup pensent que le succès très général des analyses multivariées dans toutes les branches de la géographie s'explique par la relative faiblesse des hypothèses qui sous-tendent ces méthodes, et par la modération de leurs exigences quant à l'élaboration préalable des données qui leur sont soumises. Surtout, l'approche globale qu'elles autorisent,

traitant simultanément un grand nombre de variables de toute nature pour une série d'unités géographiques, ne remet pas en cause l'approche descriptive, inductive, sans explicitation d'hypothèses ou de modèles, de la géographie classique.

2-2 ANALYSES SPATIALES

La réflexion sur le maniement statistique des données géographiques a conduit à certaines remises en cause des outils, ou à recommander certaines précautions préalables à leur usage, lorsque ces données sont entachées d'autocorrélation spatiale. Des recherches vers des instruments plus appropriés à la description des configurations spatiales (géostatistique, mesures d'autocorrélation, variogrammes, statistique spatiale, analyse spectrale à deux dimensions...) n'ont abouti qu'à des résultats partiels. Elles devraient reprendre de la vigueur et de l'intérêt en partie grâce aux besoins de la cartographie automatique et de la télédétection, en partie grâce aux techniques de micro-simulation, peut-être aussi grâce à des approches dynamiques utilisant la théorie des objets fractals...

Le fait que les géographes s'intéressent certes aux régularités thématiques et territoriales, mais gardent toujours un certain attachement à la découverte de ce qui fait la spécificité d'un lieu, les a conduit à accorder plus d'attention que dans les autres disciplines à ce que l'on appelle les "résidus", ou écarts entre l'observation et la valeur prédite par le modèle. Cette méthode permet aussi de filtrer certaines composantes d'échelle, et de faire apparaître des régularités à d'autres échelles, l'emboîtement ou la hiérarchie des niveaux géographiques d'observation étant une autre des préoccupations constantes des géographes.

Analyse des données et analyse spatiale sont associées pour le traitement numérique des images obtenues par télédétection. Lissages, filtrages, classifications... sont des étapes intermédiaires indispensables à l'analyse et à la communication de cette information très riche, mais codée et entachée de biais divers, et qui n'atteint donc sa valeur scientifique ou documentaire que par l'usage de méthodes extrêmement précises et rigoureuses.

L'utilisation des anamorphoses renoue avec les recherches de la "géographie mathématique" du siècle dernier, qui traitait des représentations planes de la surface de la terre. On réalise aujourd'hui, à l'aide de l'ordinateur, non seulement des projections classiques, mais aussi des images plus ou moins "déformées" par rapport aux coordonnées géographiques. Cette "cartographie transformationnelle" peut être utilisée pour donner des expressions synthétiques particulièrement saisissantes de divers critères ayant des distributions régionales contrastées; certaines de ces méthodes (par exemple la régression bidimensionnelle) permettent des progrès dans l'analyse des perceptions individuelles de l'espace, ou de l'accessibilité des lieux dans les réseaux de communication.

Bien d'autres outils ont été empruntés aux mathématiques,

beaucoup n'ont rien de spécifique mais ont permis, grâce aux facilités de calcul offertes par l'ordinateur, la mise à l'épreuve de modèles parfois élaborés plusieurs décennies auparavant, par exemple la théorie de l'organisation des villes en une trame de lieux centraux, le modèle de l'organisation agricole du sol en anneaux d'intensité décroissante de Von Thünen, de la disposition des flux de toute nature selon des schémas gravitaires, ou encore de la diffusion des innovations sur un territoire... La formulation mathématique du modèle permet son expérimentation dans des conditions géographiques variées. L'usage de ces modèles a parfois été rejeté par certains géographes à cause de leurs hypothèses simplificatrices - un effort pédagogique particulier a permis cependant d'élargir le consensus sur l'utilité de la notion de modèle. D'autres ont dénié à ces modèles spatiaux élémentaires toute vertu explicative, puisque même un bon ajustement n'implique pas l'efficacité des hypothèses que contient le modèle. Le débat s'oriente aujourd'hui vers l'amélioration de la qualité prédictive des modèles spatiaux.

2-3 ANALYSE ET DYNAMIQUE DE SYSTEMES

Bien que moins massivement pratiquée que l'analyse des données, la modélisation systémique a suscité chez les géographes français un enthousiasme qui laisse suspecter une nouvelle expression de leur penchant incorrigible pour les approches globales. Deux voies permettant des simulations mathématiques ont été explorées: l'une est la modélisation d'inspiration hydraulicienne, à la Forrester, au moyen d'équations aux différences, des boucles de rétroaction qui conditionnent le fonctionnement ou l'évolution d'un système spatial décrit en termes de variables de stock et de variables de flux. Des applications ont été réalisées pour simuler l'évolution de zones rurales. L'autre approche s'inspire de la modélisation dynamique des systèmes ouverts, par les "structures dissipatives" de Prigogine ou la "synergétique" de Haken, et décrit l'évolution des variables macroscopiques comme résultant des interactions qui se produisent à un niveau inférieur. Elle a été appliquée jusqu'ici à l'étude de l'évolution des structures urbaines et à l'analyse des migrations interrégionales par exemple.

Actuellement, le dialogue ouvert avec les statisticiens, les mathématiciens, les informaticiens, permet aux géographes d'aborder scientifiquement des domaines où l'approche littéraire semblait il y a peu encore la seule possible: description des paysages, traitement des données qualitatives, reconnaissance du contour flou des régions...

3- DES LACUNES REVELATRICES...

En tant qu'instrument permettant de résumer et de communiquer l'information, les mathématiques sont devenues d'un usage non seulement courant mais presque obligatoire dans toute recherche

géographique qui mobilise des données chiffrées. Ces élaborations se diffusent rapidement, y compris vers le grand public, en raison du succès des réalisations de la cartographie automatique notamment. En revanche, l'usage et la diffusion des mathématiques semblent diminuer d'intensité au fur et à mesure que l'on passe des techniques de calcul aux modèles, et des modèles aux constructions théoriques. Ainsi, les modèles spatiaux se sont diffusés dans l'enseignement supérieur, comme ils commencent à le faire dans l'enseignement secondaire, sous des formes analogiques ou graphiques, sans être nécessairement accompagnés de leur formulation mathématique ni de l'appareillage technique permettant leur expérimentation. Si certains ont essayé de développer des axiomatiques en s'appuyant sur des notions géométriques, si d'autres ont emprunté des formulations mathématiques aux sciences "dures", beaucoup regardent encore ces tentatives avec défiance et ne les jugent guère utiles au développement d'une théorie géographique.

On ne saurait reprocher aux géographes de n'avoir pas encore exploré toutes les possibilités, même si certains outils mathématiques que l'on pourrait penser a priori très utiles, comme la théorie des graphes pour l'analyse des réseaux, n'ont pas reçu jusqu'ici toute l'attention qu'ils méritaient. Plus curieux sont des oublis manifestes qui surgissent d'une comparaison avec les pratiques d'autres géographes, non seulement Américains, mais aussi parfois Européens. Nous n'en donnerons ici que quelques exemples.

Ainsi, les géographes français ont peu pratiqué la recherche mathématique pure pour l'élaboration de modèles spatiaux, telle qu'elle existe par exemple dans la revue "Geographical Analysis". Sage réserve vis-à-vis de formalisations excessives, sinon abusives? Tendance à laisser à des spécialistes, mathématiciens, et de plus en plus physiciens ou biologistes, le soin d'élaborer des modèles que les géographes adaptent ou récupèrent? Insuffisance de la formation mathématique de la plupart? A cet égard, le système qui a prévalu dans beaucoup d'universités, à savoir un enseignement de statistiques adapté au public des étudiants littéraires, et donc le plus souvent dispensé par un géographe qui a présélectionné les notions strictement "utiles", s'il est un garant d'efficacité pédagogique, est peut-être une entrave au progrès que les géographes pourraient accomplir dans l'usage des mathématiques.

Le succès même des analyses de données n'est-il que l'envers d'une résistance à la modélisation? Les géographes français font un usage plus restreint du terme que leurs collègues américains ou que certains Européens: ils font des analyses de régression, simple ou multiple, mais leur attribuent bien davantage une valeur heuristique qu'ils n'en font des "modèles" à usage conceptuel ou prédictif. Attitude plus mesurée qui résulte d'une conscience aiguë du caractère partiel de ces constructions, ou inaptitude à penser dans le cadre d'un découpage plus analytique du réel?

Une autre illustration de cette tendance est donnée par un oubli sans doute le plus patent dans le courant des années 1980: le domaine des mathématiques qui semble délibérément laissé de côté par les géographes français est paradoxalement celui du

traitement des données qualitatives. Ce champ est surtout développé aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas, à partir de formulations mathématiques dérivées du modèle logit pour la modélisation des comportements de choix de localisation des individus dans l'espace en fonction de déterminants qualitatifs. Ces modèles sont parfois aussi conçus dans des formulations stochastiques. Plusieurs hypothèses pourraient être avancées, pour expliquer cette lacune persistante: bien que peu utilisée dans sa référence probabiliste, l'analyse des correspondances, qui permet certains traitements exploratoires des associations géographiques des données qualitatives, n'est-elle pas presque aussi riche, en termes de contenu d'information produite, que les modèles logit, dont la manipulation est très délicate et les résultats difficiles à interpréter dès lors qu'un assez grand nombre de modalités sont prises en compte? Ce type d'analyse factorielle est encore peu répandu dans les pays anglo-saxons, alors que les Français l'ont beaucoup pratiqué dès le début, sous l'impulsion des chercheurs de l'équipe Benzecri. Une autre hypothèse pourrait souligner la faiblesse de l'incitation donnée aux géographes français par les pouvoirs publics: très peu d'enquêtes ont été lancées sur les comportements et les besoins des personnes dans le domaine du cadre de vie, du logement et des services. Par exemple, la demande de logements n'a pratiquement jamais été analysée. Or, c'est surtout dans ce domaine que les analyses de type logit ont été conduites, aux Etats-Unis, aux Pays-Bas ou en Autriche. En dehors du financement public, les géographes n'auraient pas les moyens de mener à bien de telles enquêtes, nécessairement très lourdes lorsqu'il faut trouver des échantillons spatialement représentatifs. Autre hypothèse enfin: les géographes français seraient-ils réfractaires à toute modélisation à l'échelon des individus? C'est en tout cas dans ce contexte que la contestation des pratiques anglo-saxonnes par les non-quantitativistes a été la plus vigoureuse: la dénonciation des aspects analytiques et opérationnels de cette "géographie du marketing" a été formelle!

On voit bien le risque d'une remise en cause de l'usage des mathématiques en géographie par ceux qui souhaitent faire l'économie d'un changement d'attitude scientifique. Ce sont souvent les mêmes qui réduisent l'apport des mathématiques à l'usage de l'ordinateur, à la rigueur au traitement des chiffres. Au contraire, ceux qui pensent que les mathématiques ont un rôle plus important à jouer dans la formulation de modèles et de théories en géographie mettent l'accent sur la nécessité de développer par exemple des approches probabilistes, ainsi que l'usage des modèles dynamiques: cela oblige à un changement conceptuel considérable puisque cela revient à interpréter un "être géographique" comme l'une parmi les réalisations possibles d'un processus aléatoire, soumis à des règles et conditionné par des paramètres. Mais les théories récentes de la dynamique des systèmes proposent un cadre moins restrictif et plus séduisant que les modèles déterministes. A partir des hypothèses faites sur la forme des interactions fondamentales qui constituent le fonctionnement et l'évolution des systèmes spatiaux, on peut comprendre comment se construisent les structures spatiales, on peut situer leur évolution à la fois dans un cadre probabiliste et interpréter l'unicité de chaque cas, l'irréversibilité des situations engendrées par certaines bifurcations...

Dependant, beaucoup reste à faire pour adapter à l'analyse spatiale et géographique des modèles dynamiques même les plus

élémentaires. La demande s'adresse ici aux mathématiciens: s'il existe une chance de réconcilier les exigences de l'approche globale qui est celle de la géographie française classique avec les préoccupations de rigueur théorique et d'efficacité opérationnelle des tenants de la géographie "quantitative", elle réside sans doute dans le développement des modèles de systèmes spatiaux, qui devront nécessairement être aussi des modèles de systèmes hiérarchiques, c'est-à-dire comportant au moins deux niveaux d'échelle géographique: il est douteux que les géographes parviennent seuls à ces formulations très difficiles, et la collaboration entre mathématiques et géographie a de beaux jours devant elle!

BIBLIOGRAPHIE

Nous remercions les nombreuses personnes à qui nous sommes redevables des réflexions qui précèdent et qui se reconnaîtront, sans qu'il soit possible de les nommer toutes ici!

Des bilans de l'usage des mathématiques dans divers domaines de la géographie ont été établis à plusieurs reprises. Quelques références, à titre indicatif, et qui comportent des bibliographies plus systématiques que celle-ci:

- Analyse spatiale: nouvelles orientations. L'Espace Géographique, 1984, n°2.
- Auriac F. Brunet R. ed. L'espace, jeux et enjeux. Paris, Fayard, 1986.
- Brunet R. La carte mode d'emploi. Paris, Fayard, 1986.
- Contributions françaises à Eindhoven, 4ème colloque européen de géographie théorique et quantitative. Brouillons Dupont, 1986, n°14, pp.149-166.
- Géographie et Informatique. Annales de Géographie, 1983, n°511.
- Géographie rurale. Informatique et Sciences Humaines, 1981, n°51.
- Géographie urbaine, description, modélisation et traitement informatique. Informatique et Sciences Humaines, 1981, n°50.
- Guermont Y. ed. L'analyse de système en Géographie. Lyon, Presses Universitaires, 1986.
- Isnard H., Racine J.B., Reymond H. Problématiques de la géographie. Paris, PUF, 1981.
- Rimbert S. et al. La cartographie transformationnelle. Université de Strasbourg, 1982.