



**HAL**  
open science

## De l'utilisation des modèles en géographie

François Durand-Dastès

► **To cite this version:**

François Durand-Dastès. De l'utilisation des modèles en géographie. Conférences sur la géographie. Grands colloques de prospective, Dec 1990, Montpellier, France. pp.51-63. hal-02459233

**HAL Id: hal-02459233**

**<https://hal.science/hal-02459233>**

Submitted on 29 Jan 2020

**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.



## De l'utilisation des modèles en géographie

Il est commode de définir les modèles, selon l'expression de P. Haggett, un peu modifiée, comme « *des représentations schématiques de la réalité, élaborées en vue de la comprendre et de la faire comprendre* » ; ils ont une double fonction, heuristique et didactique. Leur utilisation systématique et raisonnée s'est développée en géographie dans les dernières décennies, comme dans bien d'autres disciplines. Ils ont pour premier avantage de permettre d'expérimenter et tester des hypothèses, donc de dégager des régularités, sinon des lois au sens le plus strict du terme. Leur mise en œuvre est donc à la base des disciplines « nomothétiques » - et les sciences humaines tendent de plus en plus à accéder au rang de disciplines nomothétiques ; la géographie ne fait pas exception en la matière. En second lieu, et plus modestement, les modèles permettent, en association avec l'analyse des données, d'opérer les simplifications indispensables au traitement d'une information de plus en plus abondante : même du seul point de vue de l'élaboration de descriptions affinées, et de ce fait maniables, la modélisation rend de très grands services.

Il ne peut être question ici de décrire les processus de la modélisation valables pour toutes les disciplines nomothétiques. Le temps qui m'est imparti et le sujet même de ce colloque incitent à mettre l'accent sur quelques caractères propres de l'utilisation des modèles en géographie.

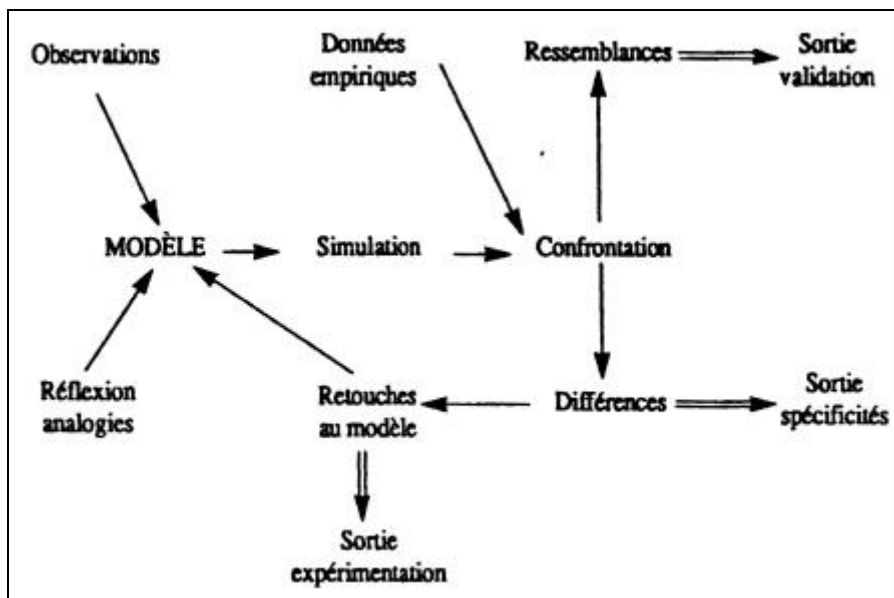
### Modèles, règles et spécificités

Il semble que la géographie fasse un usage un peu particulier des enseignements de la modélisation, et pour préciser ce point il peut être commode de présenter rapidement un schéma général de la conception et de la mise en œuvre des modèles, en quelque sorte un modèle de la modélisation (cf. Figure 1). On suppose que l'observation d'une part, la réflexion *a priori* et l'analogie de l'autre, permettent d'élaborer un modèle exprimant le jeu d'une ou plusieurs règles, formalisées en termes abstraits, sous forme d'une ou plusieurs équations par exemple. C'est là un cas limite, car pas plus en géographie qu'ailleurs tous les modèles ne sont sous forme mathématique ; mais il est commode pour notre propos de prendre un exemple de ce type. Le modèle permet alors, à l'aide de données empiriques, de procéder à une simulation de la réalité telle qu'elle se présenterait si elle résultait seulement des processus retenus dans la construction du modèle. La confrontation des résultats de la simulation et d'observations empiriques montrent en général des ressemblances et des différences, des écarts que l'on peut qualifier de « résidus ».

Il est en général possible de modifier le modèle pour réduire ces écarts, ce qui constitue une des seules formes d'expérimentation possible dans bien des domaines, et singulièrement dans les sciences humaines. Les additions qui provoquent des améliorations de la simulation sont riches d'enseignements sur les processus en jeu. Dans le cas d'un modèle mathématique, les modifications peuvent porter soit sur la nature et l'expression des variables, soit sur les paramètres des équations, soit enfin sur la

forme même des équations. Quels que soient les changements apportés, il arrive en général un moment où les simulations ne s'améliorent plus : les résidus qui demeurent sont en quelque sorte irréductibles, et ils décrivent les spécificités de certains individus par rapport aux règles qui ont été prises en compte dans la construction du modèle.

Figure 1 : Un modèle de la modélisation



Ainsi, on peut distinguer trois types de « sorties » de la modélisation, qui apportent chacune des enseignements sur les processus que l'on cherche à comprendre et sur la réalité qu'il s'agit d'interpréter :

- Les ressemblances entre simulation et réalité tendent à valider les hypothèses du modèle ; elles indiquent à tout le moins qu'il est possible ou probable que les règles de fonctionnement modélisées sont bien pertinentes et que les processus qu'elles expriment sont réellement en action. On pourra parler de « sorties/validation ».
- L'expérimentation réalisée à partir des modifications du modèles (les « sorties-expérimentation ») sont de même nature que les précédentes dans la mesure où elles valident les hypothèses nouvelles introduites. Mais elles apportent aussi des informations sur les caractères particuliers du champ d'expérience considéré, qui peut être caractérisé par exemple par une configuration de paramètres qui lui est propre.
- Les résidus terminaux constituent une « sortie-spécificités » puisqu'ils mettent en évidence des écarts qui sont en général dus à des conditions particulières, pour l'explication desquelles il faut avoir recours à des processus, souvent multiples et complexes, non pris en compte par le modèle, et sur lesquels il convient de s'interroger et de faire des recherches utilisant d'autres méthodes.

Toutes les disciplines nomothétiques s'intéressent aux « sorties-validation », et la géographie autant que les autres. Mais elle n'est, en cela, en rien originale, et je n'en dirai pas plus sur ce point, malgré son importance. Il en va en partie de même pour les « sorties-expérimentation » ; cependant, les géographes peuvent être particulièrement intéressés par le fait que tel paramètre, ou telle configuration de paramètres, est caractéristique d'un espace donné. Bien des réflexions intéressantes peuvent être menées à partir de comparaisons de valeurs de paramètres dans des espaces de référence différents.

Mais il est probable que les « sorties-spécificités » reçoivent de la part des géographes une attention toute particulière. Une de leur tâches étant de décrire et comprendre la différenciation spatiale - toute la différenciation spatiale - ils ne peuvent certes pas négliger les règles, mais ils doivent aussi porter leur attention sur les spécificités. L'étude de celles-ci, y compris par la cartographie, est souvent riche d'enseignements. On peut même dire que, dans certains cas, la modélisation est indispensable à la mise en évidence de spécificités spatiales. Il est en effet commode de modéliser un certain nombre de processus simples, en fait relativement banals, et d'utiliser les écarts, les résidus, pour découvrir des aspects particuliers, masqués au départ par le jeu des règles d'ensemble. On reproche parfois à la modélisation de négliger une partie importante de la richesse de la réalité « concrète », alors qu'elle permet souvent d'en révéler des aspects cachés et de poser de nouvelles questions.

Ce qui précède peut être illustré par un exemple assez simple, celui du modèle de gravité. Une réflexion simple permet de considérer que les flux de migration entre deux unités spatiales, par exemple des villes, dépend d'une part de leur population et d'autre part de leur distance, ce qui amène à écrire l'équation suivante, qui constitue le modèle :

$$I_{ij} = k.P_i.P_j.d_{ij}^{-b}$$

où  $I_{ij}$  représente le flux de l'unité  $i$  à l'unité  $j$ ,  $P_i$  et  $P_j$  les populations,  $d_{ij}$  une mesure de la distance entre  $i$  et  $j$ ,  $k$  un paramètre exprimant la mobilité générale de la population, et  $b$  un paramètre exprimant l'effet dissuasif de la distance, on dit souvent sa « friction ».

Cette règle simple conduit à une équation qui présente des analogies avec celle qui décrit la gravitation universelle de Newton, analogie qui a pu jouer son rôle dans la conception même du modèle. La simulation des flux à l'aide de paramètres choisis arbitrairement au départ conduit au calcul d'une série de flux qui peuvent être confrontés aux flux observés. L'expérimentation porte sur des modifications des variables, par exemple sur le choix de la population jeune au lieu de la population totale, ou d'une distance-prix au lieu de la distance kilométrique, et/ou sur des changements de valeur des paramètres, par exemple sur celui qui mesure la friction de la distance. Quant on obtient un ajustement satisfaisant, ce qui est souvent le cas avec ce modèle, on a validé ses hypothèses de départ, et on a obtenu par l'expérimentation des valeurs de la friction de la distance caractéristiques de l'espace considéré. D'autre part, la cartographie des flux résiduels est possible, alors que celle des flux de départ est totalement irréalisable - que l'on songe qu'il n'y a juste un peu moins de 10 000 flux entre les départements français, par exemple. L'application du modèle de gravité permet donc ce que j'ai appelé ci-dessus une « description affinée ». La carte des résidus peut alors être interprétée en ayant recours à des méthodes variées, y compris à des études monographiques, mais dont l'utilisation est contrôlée et pertinente, ce qui n'est pas le cas pour les monographies menées en quelque sorte au hasard, qui ont été très pratiquées par les géographes.

La géographie peut donc utiliser la modélisation pour dégager des règles générales, comme toutes les autres disciplines, mais elle garde des caractères propres en portant une attention particulière aux résidus.

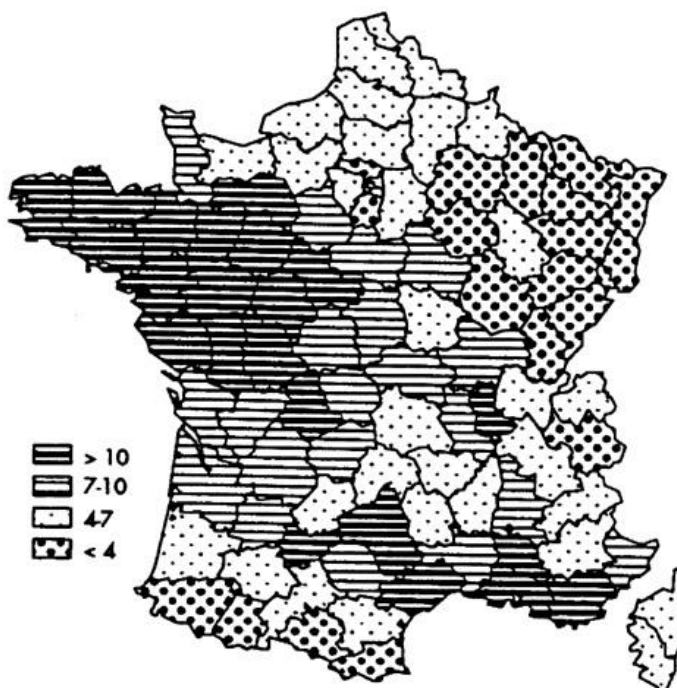
## L'introduction de l'espace

Une deuxième particularité des modèles géographiques est assez évidemment la place qu'ils font et doivent faire à la dimension spatiale, très souvent absente des modèles utilisés dans d'autres sciences humaines, davantage fondés sur la diachronie. L'induction du spatial est plus ou moins directe, ou, si l'on préfère, plus ou moins endogène aux modèles.

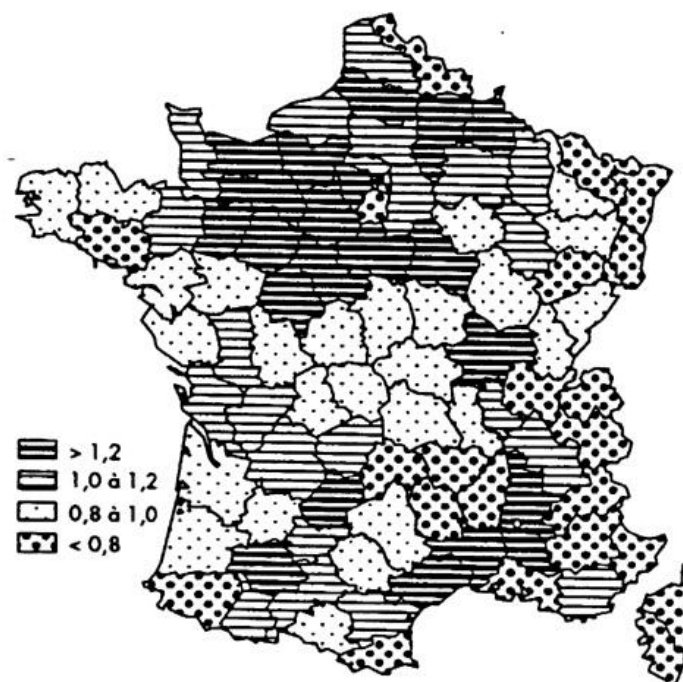
La procédure est nettement indirecte dans le cas d'un grand nombre de « modèles statistiques », c'est-à-dire où le terme est pris au sens que lui donnent les statisticiens quand ils parlent de « modèle linéaire », « exponentiel » ou « logistique », et fait référence à la forme des relations entre deux ou plusieurs variables. La spatialisation n'est alors acquise que dans la mesure où les individus statistiques sont des portions d'espace localisées, telles que villes, circonscriptions, pays, stations d'observation. Les modèles en question se prêtent à des simulations et à des calculs de résidus, dont les résultats peuvent être cartographiés, parce que les individus peuvent être placés sur une carte. Mais leur position absolue ou relative n'est pas prise en compte dans la construction du modèle, notamment dans les équations dans le cas des modèles mathématiques ; elle n'intervient qu'en fin de processus, et c'est pour cette raison que l'on peut parler d'introduction indirecte ou a posteriori de la dimension spatiale. Un exemple assez significatif est fourni par ce qu'on appelle le modèle « structure-résidu », en anglais « *shift-share* », dont la Figure 2 présente une application. Une carte des pourcentages départementaux des communes rurales équipées d'études de notaire montre une assez forte différenciation spatiale de la France de ce point de vue. Mais cette répartition est fortement influencée par les populations des communes qui varient d'un département à l'autre. Connaissant une structure, à savoir les pourcentages nationaux des communes équipées par tranches de population et la répartition dans chaque département des communes dans les mêmes tranches, il est possible de simuler ce que serait le nombre de communes équipées dans les départements s'il dépendait seulement de la structure. La confrontation de la carte observée et de la carte simulée révèle des résidus qui traduisent l'effet de comportements régionaux, occultés sur la carte des valeurs initiales par l'effet prépondérant des populations communales. Des modèles du même type peuvent être utilisés sans aucune référence à l'espace, comme ils le sont par exemple par les démographes lorsqu'ils étudient ce qu'ils appellent l'évolution au minimum d'une table de mobilité sociale. Dans ce modèle « structure-résidu », l'introduction de l'espace est en quelque sorte contingente, elle ne dépend que de la nature des unités d'observation. Il est à peine besoin de préciser que les géographes, traitant très souvent des matrices où ces unités sont des portions d'espace, font un usage très largement spatial de techniques de modélisation qui ne sont pas spatiales par essence.

Figure 2

**Figure 2A :**  
**Etudes de notaires**  
**communes rurales**  
**pourcentage de communes**  
**équipées**  
**valeurs observées**



**Figure 2B :**  
**Etudes de notaires**  
**communes rurales**  
**technique**  
**structure/résidus**  
**indices de spécificité**  
**valeurs observées**



**Indice de spécificité =**  
**valeurs**  
**observées**  


---

**valeurs estimées**

L'introduction de l'espace peut cependant être directe et *a priori*, et permet de construire des modèles essentiellement géographiques, dans la mesure où la position relative est, intégrée parmi les variables prises en compte. Pour réaliser cette intégration, on utilise très souvent la distance, soit entre un lieu privilégié et les autres lieux d'un ensemble géographique, soit entre tous les lieux de cet ensemble, pris deux à deux.

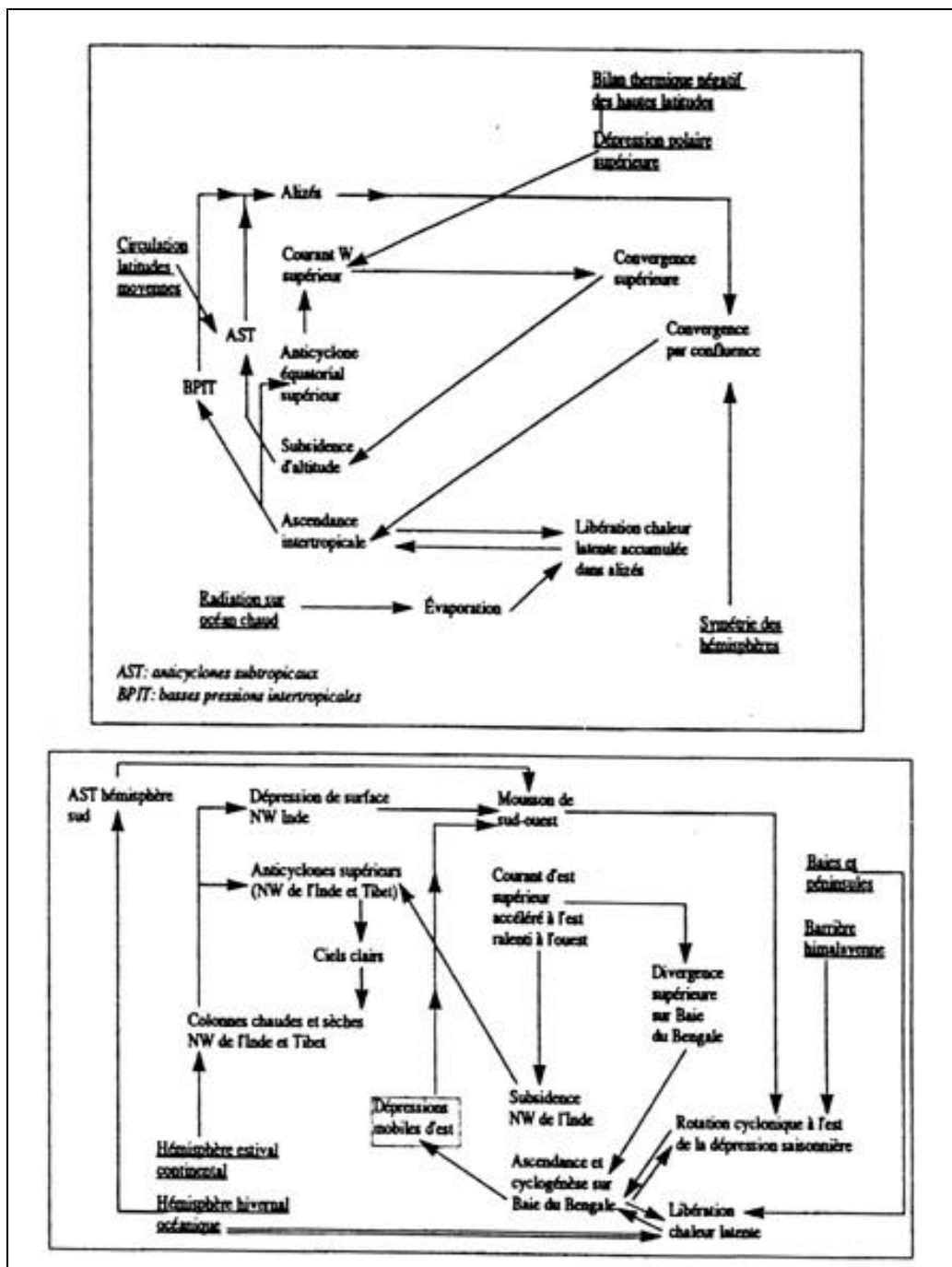
Le très classique modèle de von Thünen, conçu dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle calcule la rente différentielle obtenue par un agriculteur par l'exploitation d'un champ, par une fonction linéaire de la distance du champ à un point privilégié, le « marché » où se fait la commercialisation des produits. Il est relativement simple, parce qu'il utilise une seule distance par unité spatiale, et que la relation est linéaire. Grâce à la multiplication des moyens de calcul rapide, on introduit maintenant plus de complexité, en faisant intervenir l'inverse de la distance, donc une relation non linéaire, et une matrice de distance entre des ensembles d'individus spatiaux. De très nombreux modèles, plus ou moins directement dérivés du modèle de gravité mentionné ci-dessus, servent par exemple à analyser les flux entre régions, entre villes, et dans l'espace intra-urbain. La prise en compte dans le modèle d'attractivités caractéristiques des lieux de destination permet d'insérer de nouvelles variables. Dans la mesure des attractivités, on tient souvent compte de phénomènes de saturation qui impliquent le recours à des équations du second degré.

Les distances et les positions relatives ne sont pas introduites seulement dans des modèles à équations. Le modèle des lieux centraux, dû à Christaller, simule graphiquement les positions attendues des centres de services de différents niveaux en fonction de principes économiques, la maximisation de l'accessibilité, la minimisation de la concurrence entre services de même nature et de même niveau, et les économies d'agglomération par groupement de services de même niveau mais de nature différente. Le modèle cherche à montrer comment ces principes économiques sont conciliés par une organisation spatiale de réseaux de centres, dont les caractères sont décrits graphiquement. On aboutit donc à une construction cartographique à partir de contraintes économiques exprimées en termes qualitatifs.

Qu'ils soient simples ou complexes, ces modèles font référence à une notion fondamentale, celle d'interaction spatiale, qui exprime l'idée que ce qui se passe ou se trouve dans un lieu dépend, entre autres facteurs, de ce qui se passe ou se trouve dans un ensemble de lieux en relation avec le lieu considéré. L'importance de l'interaction spatiale dans la géographie actuelle est telle qu'on a cherché à élaborer des modèles de forme très variée pour en rendre compte. Il faut sans doute faire ici une place privilégiée aux modèles de systèmes. Ces derniers sont constitués par des ensembles d'éléments entre lesquels il existe des ensembles de relations et qui forment ainsi des totalités, qui entrent en relation avec des parties du monde extérieur, qui constituent les entrées et les sorties du système, du moins dans le cas des systèmes ouverts. Les systèmes peuvent comporter des éléments qui sont tous des unités spatiales et mettre en œuvre des relations où les positions relatives jouent un rôle important. Ils sont alors pleinement spatiaux. Mais les géographes peuvent aussi faire un usage fécond de systèmes où l'intervention de l'espace est moins complète, par exemple où la position est prise en compte surtout dans les entrées du système. La Figure 3 présente deux modèles de systèmes de circulation atmosphérique aux basses latitudes, celui de la cellule de Hadley et celui de la cellule de mousson. Ces modèles graphiques comportent des éléments spatiaux, tels que les anticyclones subtropicaux ou les alizés, mais les relations sont l'expression de processus de physique atmosphérique. Les systèmes eux-mêmes ne sont donc pas purement spatiaux, mais leurs entrées font intervenir le rôle explicatif de la

localisation, respectivement les océans tropicaux pour la cellule de Hadley et une masse continentale dans l'hémisphère en été pour la cellule de mousson, ce qui réintroduit la dimension spatiale.

Figure 3<sup>1</sup> : Le système de circulation de la cellule de Hadley (en haut)  
Le système de la mousson indienne (en bas)



<sup>1</sup> Une version plus lisible de ces figures existe dans l'article : « La notion de système et la circulation atmosphérique », 1979, *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n°465, p. 391-398 (figurant dans le CD-ROM).



**Il existe donc toute une série de gradations entre les modèles a-spatiaux dont on fait un usage spatial et les modèles essentiellement spatiaux. Situation nuancée qui offre une large gamme de choix pour l'utilisation des modèles dans l'analyse géographique.**

### **Une modélisation multiforme**

**Les efforts de nombreux chercheurs portent sur la mise au point de modèles entièrement formalisés sous forme d'équations, et qui cherchent à produire des simulations les plus proches possible de la réalité empirique. Cela au prix d'une complexité croissante des équations, de la multiplication de leur nombre ; ces modèles entièrement mathématiques dans leur forme et dotés d'une prétention à l'exhaustivité peuvent être qualifiés de « modèles sophistiqués » ou encore de modèle « durs ». Cette démarche est souvent considérée comme le cœur de ce qu'on a pu appeler la « chorologie ».**

**Cependant, il est souvent impossible de construire de tels modèles, soit parce que leur utilisation pour interpréter certaines réalités conduit à des systèmes d'équations si nombreuses et avec tellement de paramètres que les systèmes en question échappent au contrôle de l'expérimentateur, soit parce que l'on a besoin de tenir compte de phénomènes non mesurés ou non mesurables, alors que la modélisation mathématique a besoin de variables quantitatives. Comme la géographie se doit de tenir un discours sur le monde entier, il est nécessaire d'avoir recours à des procédures qui permettent d'étendre le champ de la modélisation à des questions ou des domaines qui se prêtent mal à l'utilisation de ses formes les plus sophistiquées. Je me contenterai ici de citer quelques-unes de ces procédures et de les décrire rapidement.**

#### **L'utilisation de modèles « souples » (par opposition aux modèles « durs »)**

**Il s'agit ici simplement de modèles formalisés dans des langages non mathématiques - souvent des langages graphiques. Ainsi, le fonctionnement des systèmes spatiaux peut-il être représenté par des diagrammes sagittaux, qui se prêtent, par le choix d'un « vocabulaire » graphique limité, à la mise en évidence d'une assez grande variété de types de relations. Ces modèles peuvent être soit des schémas logiques, soit des modèles de flux. Ces derniers peuvent aussi être représentés par des matrices d'interaction « qualitatives », où l'on porte dans les cases des indications sur la nature des flux, sans chercher à les quantifier, comme dans les matrices d'interaction classiques. On peut aussi ranger dans la même famille ce que l'on peut appeler des « modèles iconiques régionaux », utilisant un langage cartographique, mais simplifié de façon à mettre en valeur les interactions essentielles. Ce type de langage a été très utilisé dans les dernières années par de nombreux chercheurs du GIP RECLUS.**

### **L'utilisation « souple » de modèles « durs »**

Elle est fort utile dans les cas où les données disponibles ne sont pas suffisantes pour « alimenter » les équations de modèles mathématiques. La procédure n'est pas sans analogie avec l'expérimentation en laboratoire. Elle consiste à produire des simulations avec des données limitées, simplifiées, dont les ordres de grandeur sont seulement vraisemblables, et à confronter ensuite le résultat de ces simulations avec les situations réelles, en ne retenant que des ressemblances générales, décrites en termes qualitatifs. Si les capacités du modèle à produire des analogies de forme sont suffisantes, on peut considérer que ses hypothèses de base sont validées.

Nous avons affaire ici à un cas particulier de l'utilisation successive de procédures quantifiées et précises, et d'études qualitatives. D'une manière plus générale, il arrive souvent que des analyses de données mettent en évidence des relations et conduisent à formuler des hypothèses explicatives, qu'il est ensuite impossible de tester en termes quantitatifs, soit parce que les données sont insuffisantes, soit parce que l'on rencontre des phénomènes non mesurables. L'interprétation des résidus, donc des spécificités, mis en valeur par l'analyse des données ou l'application d'un modèle, doit fréquemment être faite en termes qualitatifs.

### **L'utilisation de procédures combinatoires**

La pensée de la complexité du monde réel peut être fondée sur l'utilisation de procédures combinatoires, à partir d'un nombre réduit de formes spatiales simples. Comme une langue peut être conçue à partir d'unités d'articulation élémentaires, les phonèmes, on peut considérer que les organisations spatiales peuvent être reconstruites à partir de « chorèmes », selon la suggestion de R. Brunet. Les images produites par des combinaisons de chorèmes présentent des analogies formelles avec les « modèles iconiques régionaux » mentionnés ci-dessus, mais on a envie de suggérer que les procédures de construction sont assez différentes dans les deux cas.

### **Les analogies et la validation de concepts**

Le dernier point est sans doute le plus délicat, puisque l'utilisation des analogies est parfois considérée comme très dangereuse. On peut cependant penser que les modèles les plus sophistiqués font apparaître des concepts fondamentaux, qui sont légitimés par la mise en œuvre même de ces modèles, et qu'on peut ensuite les utiliser hors de leur champ d'application. Un bel exemple est fourni par la notion de bifurcation, qui apparaît dans les modèles dynamiques en liaison avec les conditions initiales et de faibles variations des paramètres des équations autour de seuils critiques. Elle semble très féconde et peut en quelque sorte être transposée sous la forme d'une notion logique. L'usage qui peut en être fait hors du champ des équations différentielles se traduit évidemment par une perte de rigueur, mais on peut considérer qu'elle est compensée par son intérêt pour les interprétations causales, voire par l'enrichissement apporté à la notion de causalité.

L'intérêt porté aux spécificités, l'induction de la dimension spatiale, le recours à des modèles de formes très variées imposé par la complexité du monde, constituent des aspects très largement particuliers de la modélisation en géographie. Celle-ci n'en reste pas moins liée au mouvement général de la modélisation dans toutes les disciplines. Il est sans doute intéressant, pour finir, de noter que les premiers modèles des géographes, les plus classiques, comme ceux de von Thünen ou Christaller, cherchaient à décrire des

**situations optimales, et des équilibres, des équilibres stables même. Les modèles les plus récents cherchent plutôt à comprendre comment on est arrivé à tel équilibre plutôt qu'à tel autre, voire comment s'établissent des configurations organisées loin de l'équilibre. La géographie est donc directement concernée par les recherches sur les bifurcations, les catastrophes, voire les situations de chaos qui retiennent actuellement l'attention des spécialistes de nombreuses disciplines.**

MRT, 1990, p. 51-63.