



HAL
open science

Systemes et localisations : problemes theorique et formels

François Durand-Dastès

► **To cite this version:**

François Durand-Dastès. Systemes et localisations : problemes theorique et formels. Géopoint, 1984, pp.19-44. hal-02449770

HAL Id: hal-02449770

<https://hal.science/hal-02449770>

Submitted on 22 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.



Systemes et localisations : problèmes théorique et formels

Introduction : l'utilisation des systemes : une banalité ?

Il y a, à l'égard de l'influence actuelle de la logique des systemes en géographie, et, peut-être, plus généralement, en Sciences Humaines, une vision optimiste. Il semble qu'elle s'exprime dans un article récent de A. Dauphine dans les *Brouillons Dupont*, lorsqu'il écrit : « *Comme tout bon soviétique faisant d'abord référence au petit père Lénine, le géographe d'aujourd'hui ne saurait écrire le moindre paragraphe sans se référer au Dieu système* ». Alors, puisque les géographes parlent tous de systemes, les utilisent tous, la tâche qui reste à accomplir est de rendre cette utilisation vraiment sérieuse, à chercher des formalisations de plus en plus rigoureuses, bref à éviter « le discours vide et creux », et guérir d'une maladie due à l'action « d'un autre parasite, le virus système D ». En somme, tout le monde s'occupe de systemes, le seul problème est de le faire sérieusement. Je dirai pour ma part : « plût au ciel qu'il en fût ainsi » ! Cette vue de A. Dauphine me paraît refléter, même en faisant sa part à l'humour, une vision de la situation trop optimiste. Je crains en effet que nous partions de plus bas, que la logique de l'interaction, base des raisonnements systémistes, soit encore loin d'avoir pénétré profondément le travail géographique, qu'il y ait des attitudes de refus bien marquées vis à vis de cette logique. Je voudrais en donner deux exemples, pris un peu au hasard, chez des auteurs fort éminents, qui d'ailleurs ne sont pas géographes, mais ont eu du succès auprès d'eux.

Il s'agit de cas de refus d'une notion à la fois simple et essentielle, une sorte de « notion minimale » de la logique des systemes, celle de « boucle de rétroaction ».

Dans un numéro des *Cahiers français* consacré au sous-développement et au Tiers Monde, G. Destanne de Bernis (DESTANNE de BERNIS, 1974) : « *Une forme plus subtile de cette naturalisation du sous-développement consiste à organiser le raisonnement en termes de cercles vicieux : parce qu'ils sont pauvres, ils sont malades, ils ont une faible productivité du travail, parce qu'ils ont une faible productivité du travail ils ont un faible revenu, donc ils sont pauvres, donc malades, donc peu productifs, etc. C'est comme ça. Mais alors pourquoi d'autres ne le sont-ils pas ? Prenez un cercle et caressez-le, disait Ionesco, et il deviendra vicieux. Le sous-développement serait alors un phénomène sans cause* ».

Passons sur deux faits : le choix de la « boucle » présentée ne retient que l'une des moins significatives de celles que l'on trouve mentionnées dans la littérature sur le sous-développement, et on peut se demander si ce choix ne reflète pas une volonté de caricature ; d'autre part, nous verrons que l'on peut toujours se demander comment une boucle a commencé à fonctionner, et pourquoi cela s'est passé « là et pas ailleurs ». Ce qui est important, c'est la dernière phrase.

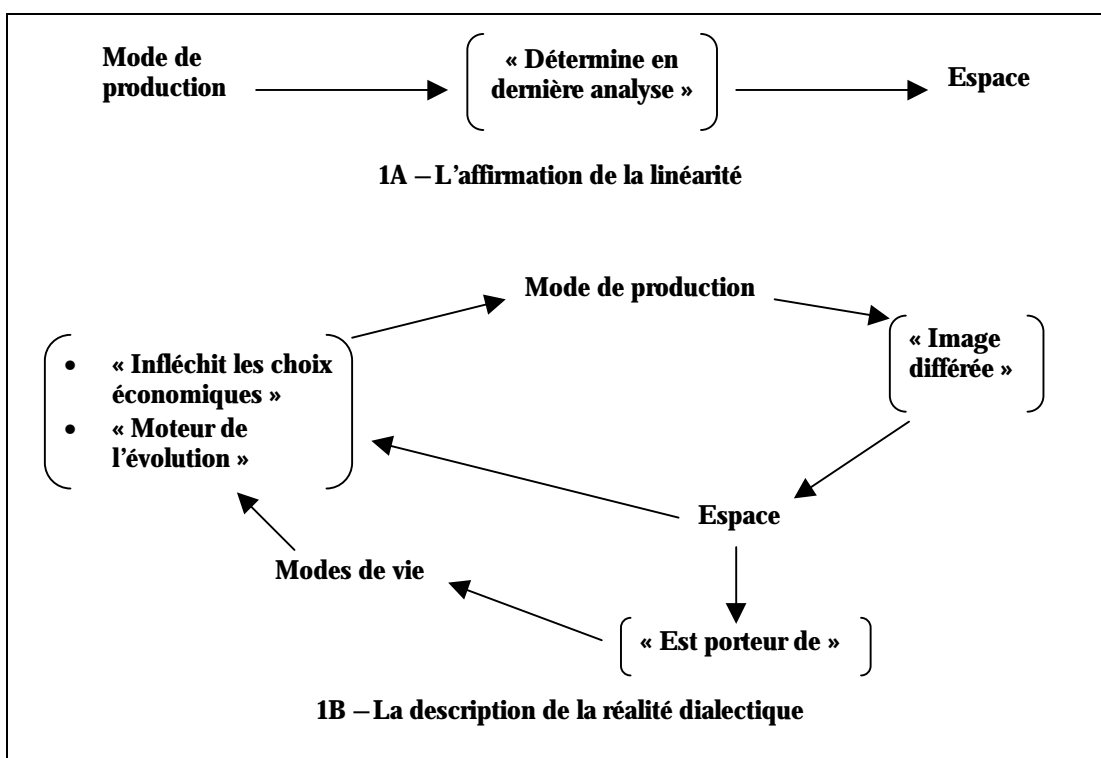
« *Le sous-développement serait un phénomène sans cause* ». Elle semble bien impliquer, dans l'esprit de l'auteur, que toute causalité circulaire n'est pas une causalité, ou que la causalité disparaît dès qu'elle devient circulaire, c'est-à-dire dès que l'on sort des schémas linéaires, où *A* est cause de *B* et seulement cause, alors que *B* est conséquence, et seulement conséquence. Il peut paraître peu pertinent d'avoir choisi un texte d'un non géographe. Mais si je le cite, c'est parce qu'il a eu beaucoup de succès auprès de géographes, et que certains se sont chargés de le diffuser très largement dans un des publics les plus importants qui soit, celui des élèves de l'enseignement secondaire. J'ai en effet eu entre les mains deux manuels, l'un de seconde, l'un de classes terminales, où il est repris en substance ou littéralement (littéralement dans un manuel à très large diffusion publié chez Hachette, œuvre collective d'un « groupe de recherche sur l'enseignement de l'histoire et de la géographie »).

Le second exemple est plus subtil, puisque l'auteur que je vais citer décrit assez bien une boucle d'interaction, mais en refuse les implications. Refus d'autant plus décevant et étonnant qu'il s'agit d'un économiste spatial qui a offert récemment une des présentations les plus stimulantes du problème de la différenciation économique de l'espace français.

Dans un article intitulé « Espace et localisation », Ph. Aydalot (AYDALOT, 1983) écrit que « *c'est en dernière analyse le mode de production qui détermine l'espace* ». Il donne à imaginer, par une telle formulation, une relation linéaire entre mode de production et localisation, telle qu'on pourrait la schématiser comme nous l'avons fait sur la Figure 1A.

Mais l'analyse de l'auteur lui-même contredit cette vision des choses, et notamment son expression « *en dernière analyse* ». En effet, pour lui, le mode de production détermine des modes de vie, mais « *il y a un décalage permanent lié à l'inertie des modes de vie, (qui) donne à ces derniers une autonomie relative par rapport aux modes de production* ». Et, d'autre part, « *l'espace porteur de ces modes de vie est l'instrument essentiel de cette inertie* ». Il apparaît donc des décalages entre modes de vie et modes de production, entre modes de production et caractère de l'espace. En particulier, les espaces sociaux hérités des modes de production antérieurs au mode de production capitaliste, « en retard », formant des périphéries, assurent la rentabilité de certains secteurs économiques importants de ce mode de production, et sont donc une condition de son fonctionnement : « *le retard permanent entre les formes de production et celles de la consommation sont bien un moteur de l'évolution des modes de production* ». Ainsi, il existe bien une boucle d'interaction : les modes de production, par l'effet des décalages et des inerties, projettent sur l'espace une « image différée » d'eux-mêmes ; ces caractères de l'espace influencent à leur tour les modes de vie dont l'espace est « porteur » et ceux-ci « infléchissent les choix économiques », permettent le profit, justifient le progrès technique. Si bien que le mode de production se trouve influencé, et que la boucle se referme. Le schéma du raisonnement peut donc être résumé comme il a été fait dans la Figure 1B.

Figure 1 : Mode de production/ espace selon Ph. Aydalot



(les expressions entre crochets et entre guillemets sont les citations du texte de Ph. Aydalot)

Ces citations sont intéressantes, car elles montrent, semble-t-il comme une contradiction, ou au moins un décalage, entre un raisonnement essentiellement dialectique, et des conclusions qui ne le sont pas : on décrit assez bien une boucle de rétroaction, mais on donne à penser par le choix des termes (« *en dernière analyse* »), qu'on a effectué un raisonnement relevant d'une logique linéaire, non dialectique. Celle-ci ferait-elle peur ?

Il ne s'agit là que de deux exemples. On pourrait malheureusement en trouver d'autres, parfois plus frustes, dans tous les domaines de la géographie. Cela m'inspire une vision plus pessimiste de la situation que celle que j'ai prêtée ci-dessus à A. Dauphine, peut-être à tort. Je crains que les ravages de la logique linéaire, de la recherche à tout prix de la « dernière instance », du *primum movens*, soient encore très importants en géographie. Il y a certes eu des utilisations abusives et approximatives de la logique des systèmes, et la recherche de la rigueur, de plus de rigueur, est indispensable. Mais elle a tout de même produit moins de discours « vide et creux » que les logiques linéaires les plus soigneusement mises en œuvre...

Cette perspective pessimiste explique tout d'abord qu'il me semble qu'il était utile de consacrer un « Géopoint » aux systèmes et à leur rôle dans l'explication des localisations, utilité qui a été contestée, comme on le verra en lisant certaines contributions qui ont été envoyées avant notre réunion. Elle explique ensuite que je vais partir de faits assez simples, de quelques affirmations et hypothèses de base, qui paraîtront sans doute simplistes à certains, que je prie de m'excuser. Je m'efforcerai de montrer quelques exemples, qui sont tous assez élémentaires, pour des questions matérielles, notamment en raisons de contraintes de temps et de la difficulté de présenter ici des schémas trop complexes.

I - Trois propositions

Il convient de revenir tout d'abord sur la définition des localisations.

Elle a deux aspects : qualitatif et quantitatif.

- Le phénomène *A* est observé dans le lieu *Z* et pas ailleurs.
- La quantité *A* est observée dans le lieu *Z*, plus qu'ailleurs.

Ces deux propositions impliquent que *A* est localisé en *Z*, c'est cette localisation qu'il s'agit d'expliquer. (En d'autres termes, en posant les questions : pourquoi *A* en *Z* et pas ailleurs, pourquoi *A* en *Z* plus qu'ailleurs, on pose la « question de localisation », dont on peut sans doute dire qu'elle est la question fondamentale ou même fondatrice de la géographie...).

On peut alors poser trois principes :

- S'il existe une localisation, c'est que *A* est maintenu en *Z* ; donc qu'il existe un facteur de stabilité.
- Ce qui se trouve ou se passe en *Z* est en relation avec ce qui se passe dans d'autres lieux, dans l'ensemble des *Z_i* si l'on veut. C'est le principe de l'interaction spatiale. Il est en général possible de montrer qu'une localisation est le résultat de processus diachroniques, d'une série de faits d'héritage. Leur importance est soulignée par le rôle souvent dévolu par les géographes à ce qu'ils aiment appeler « l'explication historique » dont le statut n'est d'ailleurs pas toujours clair.
- L'ensemble des mécanismes produisant des localisations aboutit à une différenciation spatiale, qui est l'un des thèmes d'étude les plus importants de la géographie. Il faut donc dans un premier temps, se demander dans quelle mesure la logique des systèmes peut nous aider à penser la stabilité, l'interaction spatiale, et les processus diachroniques.

Je formulerai à cet égard trois propositions :

1 - Toute localisation dotée d'une certaine permanence donc observable correspond au fonctionnement d'un système doté de propriétés homéostatiques

Le terme qui doit être explicité tout d'abord dans la proposition ci-dessus est celui de « correspondance ». Il implique deux relations possibles entre localisation et système :

- ou bien le phénomène localisé est une sortie du système ;
- ou bien il est un élément du système.

Une bonne illustration du premier cas est offerte par la thèse de F. Auriac : *Système économique et espaces un exemple en Languedoc* (AURIAC, 1983). Dans ce travail, la réalité « vignoble languedocien » (un vignoble localisé en Languedoc) est considérée comme un produit, une sortie d'un système économique et social. Ce système, longuement étudié, est doté de propriétés homéostatiques qui permettent seules d'expliquer le maintien du vignoble, dont on dit depuis maintenant pas loin de 80 ans qu'il est condamné par son caractère antiéconomique, et qu'on a cherché à remplacer par

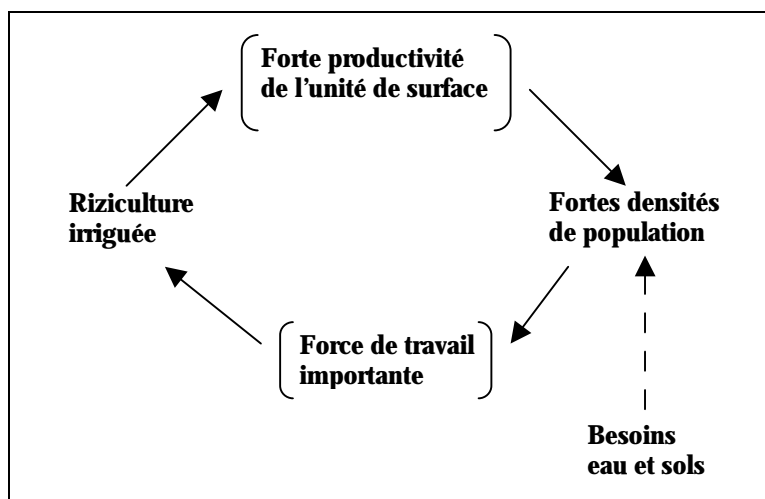
d'autres activités, dans le cadre de politiques d'aménagement diverses. A cet égard, le vignoble en Languedoc peut apparaître comme une « localisation paradoxale », dont seule une perspective systémiste peut rendre compte.

De façon assez différente, les villes, englobées dans un système urbain, par essence un système d'interaction spatiale, sont des éléments de ces systèmes et s'expliquent donc les unes par les autres en fonction d'un certain nombre de règles qui ont été l'objet d'assez nombreux essais de modélisation, dont le plus célèbre est évidemment celui de Christaller.

La stabilité des systèmes est assurée par le fonctionnement combiné de boucles de rétroaction positives et négatives. (Boucle positive : *A* induit *B*, et *B* induit *A* ; le fonctionnement d'une boucle positive conduit à une croissance du système, donc elle le maintient, mais elle peut aussi amener sa destruction. Boucle négative : *A* induit/augmente *B*, qui diminue *A* et limite donc sa croissance. La croissance de *A* se limite donc par l'intermédiaire de la croissance de *B*. Les boucles de rétroaction négatives jouent ainsi un rôle de régulateur, et sont un élément essentiel de la stabilité du système).

Je prendrai pour illustrer ce propos un exemple très simple, celui du « système de la riziculture irriguée » (cf. Figure 2). Il existe une rétroaction positive entre la riziculture et de fortes densités de population : la riziculture fournit une grande quantité de calories à l'hectare (du moins par rapport à d'autres systèmes de production « traditionnels ») et permet donc un fort peuplement. En retour, cette forte densité de population permet la riziculture, grosse consommatrice d'heures de travail. On ne peut se contenter cependant de cette seule boucle positive, car la croissance de la production de riz et de la densité de population n'a pas été indéfinie. Il faut en effet tenir compte de la pression sur des ressources limitées en sol et en eau qui limitent la croissance de la population, et donc celle de la production rizicole.

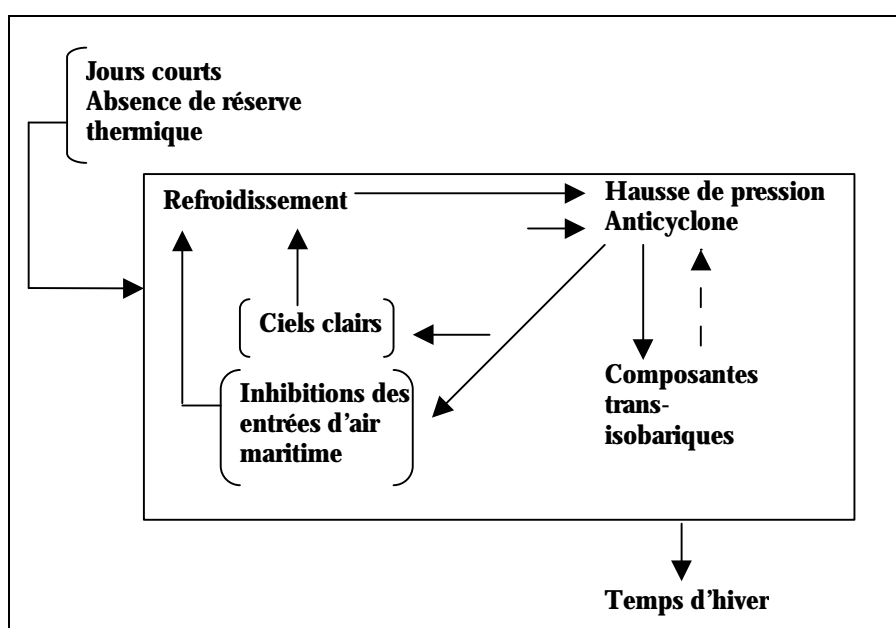
Figure 2 : Système de la riziculture irriguée



La flèche en pointillé signifie : « freine, contrarie », la flèche en trait plein : « induit, augmente ».

Dans un tout autre domaine, un exemple significatif est offert par l'anticyclone hivernal continental des moyennes latitudes (cf. Figure 3). Avec des jours courts et en l'absence de réserves thermiques à la surface du globe (entrées du système) l'air se refroidit et la pression augmente en surface. Cette haute pression de surface engendre un anticyclone qui maintient des ciels clairs et tient à l'écart les courants d'origine océanique, ce qui augmente le refroidissement, et donc la pression. Telle est la double boucle de rétroaction positive. Mais l'augmentation de la pression crée des composantes trans-isobariques qui conduisent à des écoulements d'air hors de la région anticyclonique, ce qui limite la croissance de la pression : boucle de rétroaction négative qui explique que la hausse de pression se limite et qu'elle produit un maximum de pressions qui se situe autour de 1035/1040 millibars. Ainsi est assurée la stabilité de l'anticyclone qui durera tant que les entrées ne changeront pas.

Figure 3 : Système de l'anticyclone hivernal



Le fonctionnement des boucles n'est pas le seul facteur de stabilité du système. En effet, les systèmes spatiaux, et c'est peut-être là une de leurs originalités, se traduisent par la mise en place d'éléments matériels, d'ailleurs liés entre eux, si bien qu'on peut les qualifier d'éléments « structuraux », ou plus simplement de « structures ». (A cet égard, on distinguera soigneusement la structure du système et les structures dans le système dont il est question ici). Comme elles sont inscrites dans l'espace, ces structures ont une permanence et peuvent assurer le maintien du système. Un bon exemple est donné dans le livre de F. Auriac, avec les coopératives viticoles. Leur création correspond à une phase de fonctionnement du système languedocien. Une fois qu'elles ont été mises en place représentant un investissement considérable, elles ont contribué à le maintenir. On pourrait en dire autant des aménagements agraires (diguettes, canaux, formes de l'habitat) dans le cas du système de la riziculture, et même du couvert neigeux dans le cas de l'anticyclone hivernal...

Les structures inscrites matériellement dans la réalité aboutissent à constituer l'espace en « mémoire » des processus interactifs ; elles jouent un rôle important, comme nous le verrons, dans les évolutions diachroniques, et dans la succession des systèmes.

L'importance des structures est donc grande, ce qui explique la tentation éprouvée par certains de les substituer aux systèmes comme élément d'analyse ou comme outil conceptuel.

Ainsi devant une localisation observée, on pourra se demander :

- **si elle correspond au fonctionnement d'un système ;**
- **comment est assurée la stabilité du système ;**
- **pourquoi il fonctionne là et pas ailleurs.**

Cette toute dernière question est fort importante et pose de vastes problèmes. A un premier niveau, le plus simple, la localisation du système, donc de ses éléments et de ses sorties, dépend de celle de ses entrées. Le cas de l'anticyclone situé aux moyennes latitudes à l'intérieur des masses continentales, offre un exemple assez simple : c'est dans cette situation et seulement là que sont rassemblées les entrées du système décrit dans la Figure 3. Le cas de la «boucle de la riziculture » est plus complexe. On sait qu'elle a fonctionné surtout en Asie, où elle rend sans doute compte dans une large mesure des fortes densités. Mais elle aurait pu fonctionner ailleurs, dans le monde tropical et subtropical où elle n'est cependant pas observée. Comme nous le verrons, il faut dans des cas pareils, invoquer des processus aléatoires, des bifurcations, et des phénomènes de diffusion. Il reste cependant que, même si on ne sait pas répondre de façon pleinement satisfaisante à la troisième question, on apporte cependant des éléments d'explication en répondant aux deux premières.

2 - Les systèmes sont d'une utilité fondamentale pour penser et décrire l'interaction spatiale

La notion d'interaction spatiale reçoit une attention croissante dans la géographie contemporaine. Elle amène à insister sur le fait que les contenus des lieux agissent les uns sur les autres par une série de relations réciproques. (Ce qui se passe ou ce qui se trouve dans le lieu x est influencé par ce qui se passe ou se trouve dans un ensemble de lieux y, z, a, b , etc. et réciproquement). Dans cette perspective, les lieux sont considérés comme les éléments d'un système de lieux, entre lesquels il existe des relations de nature diverse. En d'autres termes, les répartitions de phénomènes divers se conditionnent mutuellement. La logique des systèmes, préoccupée avant tout d'interactions entre éléments, est donc un moyen privilégié de faire intervenir l'interaction spatiale.

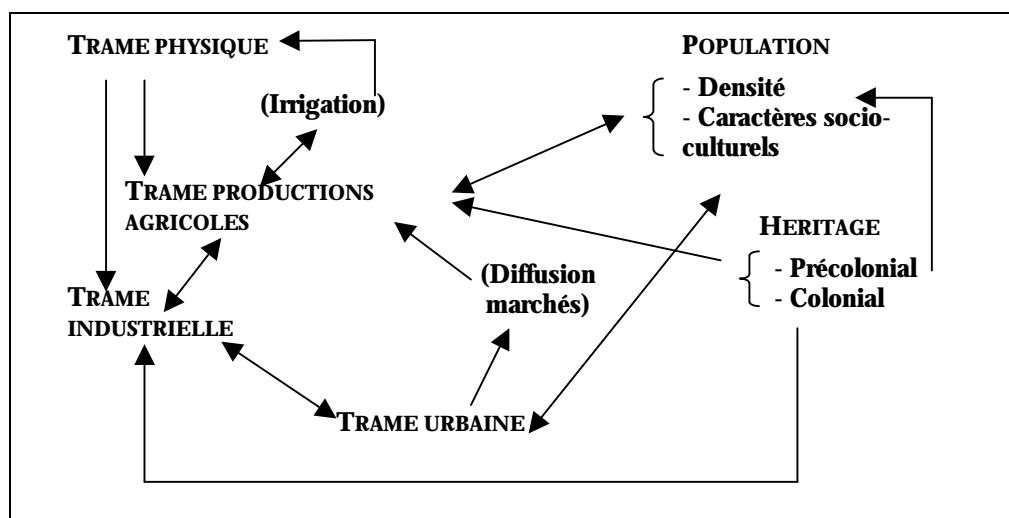
Ce propos peut d'abord être illustré par quelques exemples simples, assez banaux à vrai dire, qu'il peut, sans doute, être utile de reprendre rapidement.

Ainsi, dans la plupart des modèles de réseaux urbains, il existe une logique systémiste, au moins à l'état latent. Dans le modèle de Christaller, les positions des villes de même niveau se déterminent mutuellement, et le réseau des villes de rang inférieur est le facteur d'explication du réseau des lieux centraux de rang immédiatement supérieur. Il existe donc bien un système de villes où chacune ne se comprend que par référence à toutes les autres.

Les entrées du système sont constituées par un ensemble de contraintes liées à la densité de population, au niveau de vie et à la nature des services. Ces contraintes imposent un nombre maximum de villes d'un niveau donné dans l'espace considéré ; aussi, dans une certaine position, une ville ne saurait croître au-delà d'un certain seuil, fixé par le fonctionnement de l'ensemble du système et par ses entrées. (Ce qui offre un principe d'explication très supérieur à celui qu'utilisent certains travaux classiques où l'on cherche dans l'histoire individuelle de chaque ville l'explication de son rythme de croissance...).

Pour prendre un deuxième exemple, je présenterai un schéma pédagogique simple qui cherche à décrire l'interaction entre des répartitions (cf. Figure 4). Dans la construction de ce schéma, J'ai essayé de montrer en termes généraux les relations réciproques entre différentes trames de répartition dans l'espace indien. Bien qu'il soit relativement banal, il a le mérite d'insister sur le fait qu'aucune localisation (aucun élément de chaque trame ; en fait chaque trame est elle-même un système) n'est explicable sans faire intervenir un système complexe de phénomènes. Il a aussi l'avantage de situer la place d'élément comme le milieu physique, ou les traces concrètes du passé historique, dont l'importance a fait l'objet de discussions qui peuvent apparaître assez vaines dans la mesure où le schéma implique l'absence d'un « facteur premier », d'une cause majeure, ou, si l'on préfère, d'une « dernière instantanée », pour reprendre une expression de M. Godelier. Les trames retenues pour figurer dans le schéma et leurs relations ont fait l'objet d'un tri soigneux, d'une sélection. On a cherché à mettre en œuvre une sorte de principe d'économie, en ne retenant que des factures ou des aspects dont on ne peut se passer pour arriver à des explications cohérentes. Dans la mesure où aucune des trames retenues ne peut être négligée sans que certaines localisations ne deviennent inexplicables, chacune apparaîtra comme essentielle, et comme « valant » toutes les autres.

Figure 4 : Interaction entre les répartitions



Rapports des localisations : Espace indien

Il convient maintenant d'aborder un point qui a été soulevé lors de discussions préliminaires au Groupe Dupont. La question a en effet été posée de la possibilité d'introduire la dimension spatiale dans la formation des systèmes d'interaction, de la difficulté de trouver un langage qui permette de tenir compte de l'espace. Il est exact que celui-ci est mal décrit dans un certain nombre de formalisations ; en particulier, le schéma de la Figure 4 qui vient d'être présenté, est largement a-spatial. Plus exactement, l'interaction spatiale est posée comme principe, elle sert de référence, mais elle n'est pas décrite avec précision. Par bonheur, il existe un type de mise en forme qui permet de réaliser une intégration féconde de l'espace au modèle, un langage qui facilite le passage à des calculs précis, le langage matriciel.

Soit par exemple un ensemble de n lieux entre lesquels il existe des flux, des interactions, si bien qu'on peut estimer qu'ils constituent un système.

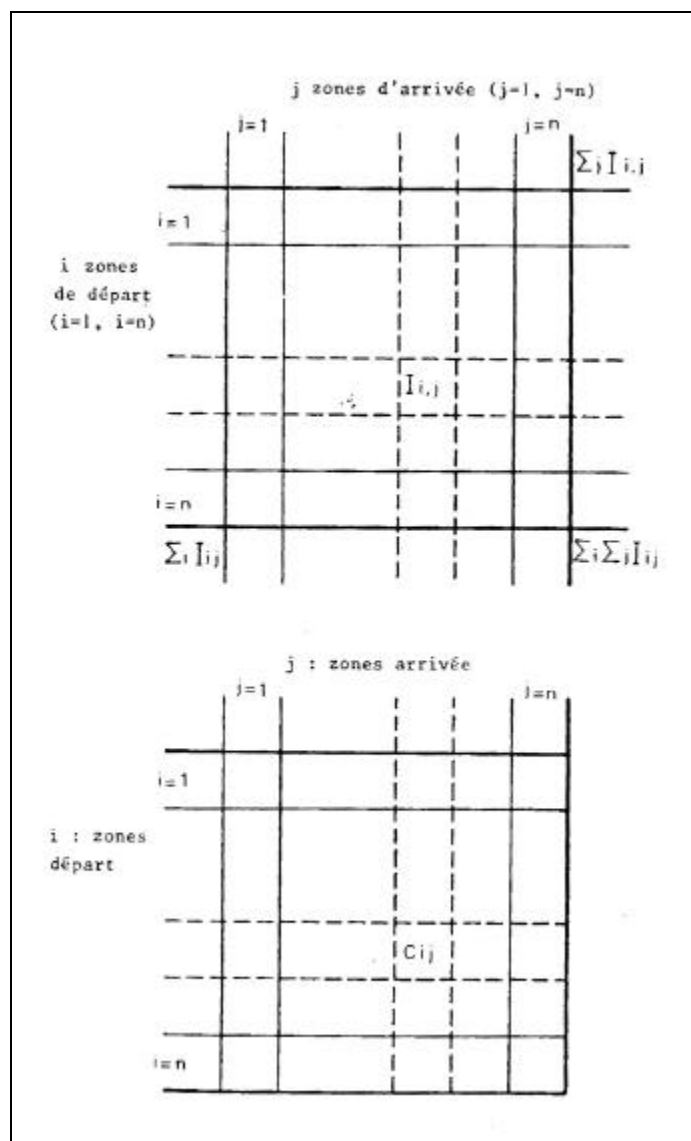
Ces lieux seront d'abord caractérisés par un ou plusieurs vecteurs, qui décriront par exemple leur masse, d'un certain point de vue (masse de population, quantités de logements, surfaces de plancher des logements, des établissements, etc.).

De plus, ces lieux sont placés sur des matrices, comme celle que représente la Figure 5. Ils sont pris simultanément comme lieux de départ et d'arrivée des flux. Sur la Figure 5, les lieux de départ sont figurés en ligne (et indiqués i , pour $i=1$ à $i=n$), les lieux d'arrivée sont figurés en colonnes (et indiqués j , pour $j=1$ à $j=n$).

On pourra construire plusieurs matrices pour décrire et comprendre les interactions entre les lieux. Elles sont de deux types :

- Une ou plusieurs matrices de « coûts de déplacement » entre les lieux qui sont notées C_{ij} dans la Figure 5. Dans la plupart des cas, on considère que le coût du déplacement d'un lieu vers lui-même n'est pas nul (si bien que la matrice n'est pas strictement une matrice de distance). Les valeurs des C_{ij} sont cependant très souvent des fonctions plus ou moins complexes de la distance mesurée en différentes unités. L'action dissuasive de la distance, sa « friction », est appréciée par un paramètre. (Par exemple, dans les modèles de gravité les plus simples, on écrit que l'interaction est inversement proportionnelle à D (a) ou à b (D) où D représente ici la distance tandis que les paramètres a ou b mesurent sa « friction ». Mais on peut augmenter sensiblement le nombre de ces paramètres.
- Une ou plusieurs matrices qui indiquent dans les cases les valeurs des interactions qui ont ici été notées I_{ij} . Cette interaction peut être constituée par des flux variés : nombre de gens qui se déplacent d'un lieu de résidence (départ), vers un lieu de travail (destination), nombre de coups de téléphone entre lieux, etc. Les sommes en lignes et en colonnes constituent des vecteurs importants pour la description du système. Dans le cas, envisagé ci-dessus, de déplacements résidence-travail, la somme en colonne indique l'effectif total travaillant dans chaque lieu, la somme en ligne, le nombre des actifs résidents dans chaque lieu.

Figure 5 : Matrice d'interaction spatiale



La combinaison de ces vecteurs et de ces matrices donne une description complète d'un système d'interaction spatiale ; il enregistre des masses (vecteurs et sommes), et des flux. (Masses et relations qui peuvent concerner des lieux de nature très variée : exploitations agricoles, quartiers urbains, villes, pays, etc.). Dans la mesure où l'on fait figurer une matrice de coûts de déplacements (C_{ij}) et où l'on cherche à utiliser pour rendre compte des matrices de flux (I_{ij}), l'espace est explicitement introduit dans la construction du système.

Les données des matrices de distance (C_{ij}) peuvent être combinées à des indications relatives aux masses pour définir des attractivités entre lieux. Par exemple, on peut définir l'attractivité d'un quartier d'emploi j sur un quartier résidentiel i en fonction de la distance $f(C_{ij})$ et du nombre et de la qualité des emplois offerts dans la zone j .

Il est possible alors d'expliquer les flux par ces attractivités : un flux I_{ij} dépend de l'attractivité de j sur i , mais aussi de l'ensemble des attractivités exercées sur le lieu i par l'ensemble des lieux j . Ainsi, la totalité des interactions spatiales est-elle prise en compte,

et la cohérence du système est-elle assurée.

De telles formalisations sont souvent utilisées pour évaluer des quantités inconnues, soit parce qu'elles sont trop difficiles à obtenir par l'observation soit parce que l'on cherche à faire une prévision. Par exemple, on peut chercher à évaluer les flux en connaissant un certain nombre de masses et quelques contraintes d'ensemble. Ainsi, dans l'un des modèles proposés par Wilson, on cherche à évaluer les déplacements à partir de lieux de résidence dont la population est connue, vers des lieux où sont localisés des services, en posant une seule contrainte : la valeur des coûts totaux que la population de la ville peut consacrer aux déplacements. Les modèles opérationnels construits sur des principes de ce genre sont nombreux. Certains d'entre eux atteignent un grand degré de complexité, les équations et les paramètres étant en nombres importants. Les calculs impliquent souvent la mise en œuvre d'équations non linéaires complexes, si bien que le traitement repose sur des simulations sur ordinateurs. et non sur des solutions analytiques.

On notera pour finir que l'on peut considérer que certaines des matrices d'interaction relèvent souvent du domaine de ce que j'ai appelé ci-dessus les structures dans le système. C'est le cas, par exemple, de la matrice des distances. Le tableau de la Figure 6 montre comment les éléments pris en compte par deux modèles classiques d'interaction spatiale se situent dans une perspective systémique. Dans ces deux modèles, le système est constitué par un ensemble de flux entre des lieux ; mais les entrées, les structures incorporées dans le système, et les sorties (localisations expliquées) diffèrent de l'un à l'autre.

Figure 6 : « Prise en charges »

	Garin-Lowry	Wilson
Entrées	Multiplicateurs Emploi x a = Population Clientèle des services x b = Emploi dans services	Coût maximum de l'ensemble des déplacements
Structure dans le système (héritée)	- Matrice des distance - Répartition des emplois basiques	- Répartition des habitants
Système	Interaction spatiale traduite par des flux	
Localisations expliquées	Population des quartiers de la ville	Déplacements vers les services (éventuellement : emplois de services des quartiers)
Prises en charge de structure Système, entrées dans les matrices		

Mais l'essentiel pour notre propos, c'est que ces matrices des distances sont un moyen d'introduire au moins l'un des aspects de l'espace dans des formalisations systémiques de l'interaction spatiale. Des résultats du même genre ont été recherchés par certains auteurs, avec des formalisations moins strictes, mais sans doute d'accès plus immédiat. C'est ce qu'a fait R. Brunet dans ses schémas de systèmes spatiaux (BRUNET, 1973) dont le plus connu est sa présentation de l'espace français. On se souvient qu'il construit une carte simplifiée de la France qui part d'une classification de types de lieux. Leurs caractères sont ensuite expliqués par leurs relations réciproques, celle-ci étant d'autant plus faciles et importantes que les distances sont faibles et que les obstacles sont moins marqués. La nature des relations reste implicite dans le modèle de R. Brunet, mais il est assez facile de les recenser et de les exprimer sous forme matricielle, comme je l'ai fait dans la Figure 7. Ainsi, c'est bien à la présentation d'un système que sert la carte. On peut assez bien imaginer des allers et retours entre les cartes et les matrices, c'est-à-dire en définitive entre deux types de présentations de l'espace.

Figure 7 : La matrice des flux de R. Brunet

DE ↓ \n ↘ VERS →	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Centres/axes extérieurs	ID++ F++	ID+ F+	ID+ F+	ID	F			P+ ID+
2 Centres/axes intérieurs	ID++ F++	ID++ F++	ID	ID	ID+	ID	ID F	ID M
3 Vieilles régions industrielles	M P	M P	M	M	M	M	M	M P
4 Régions industrielles diffuses	M P	M	M	M	M	M	M	M P
5 Régions agricoles Forte population		M P	M	M	P M			
6 Régions agricoles Faible population		M P					M	
7 Pôle répulsif		F- F-	F- F-	F-				
8 "Midi"	M	M	M	M				ID M

Flux : ID : Informations/décisions

M : Marchandise

P : Population

F : Financiers

+ : Action positive pour la région « réceptrice » (lignes)

- : Action négative pour la région « de départ » (colonnes)

N.B. Les mêmes régions figurent en ligne et en colonne. Leurs noms sont indiqués sur les lignes seulement (ex. : colonne 3 désigne les « Vieilles régions industrielles », comme la ligne 3).

3 - Les systèmes servent à penser les processus

Cette affirmation peut se justifier dans la mesure où l'on peut considérer qu'un processus diachronique est en fait analysable comme une succession de systèmes. Ceux-ci ont en effet une histoire qui peut être décomposée en plusieurs phases :

- phase de mise en place des éléments du système, mais sans qu'ils interagissent entre eux ;
- phase de formation du système qui se réalise quand les interactions commencent à jouer. On parlera de « phase de systémogénèse » ;
- phase de fonctionnement du système ;
- phase de destruction du système, à propos de laquelle on peut parler de « catastrophe », au sens logique du terme, bien évidemment.

Cette perspective suppose qu'une portion « d'étendue » (au sens de H. Reymond) puisse être pendant un temps donné caractérisée par le fonctionnement d'un système, ce qui en fait un espace géographique, où les localisations sont susceptibles d'explication ; mais qu'avant l'apparition du système ou après sa destruction, cette étendue puisse être englobée dans un autre système ou rester en quelque sorte dans un état amorphe qui lui fait perdre son caractère « d'espace géographique » ou de « région ».

Pour l'explication des localisations, il est nécessaire d'accorder une place particulière aux phases d'apparition et de destruction des systèmes. Ces dernières peuvent être dues soit à une modification des entrées soit à une série de contradictions internes qui deviennent insurmontables. Ainsi, l'affaiblissement ou l'arrêt de fonctionnement d'une boucle de rétroaction négative d'un régulateur peuvent laisser le jeu des boucles de rétroaction positive produire des croissances de certains éléments au-delà de seuils compatibles avec le maintien du système. (La très célèbre « transition démographique » peut être considérée comme une succession de systèmes, dont le premier en date, celui de la « situation traditionnelle » comporte une boucle de rétroaction négative qui cesse de fonctionner avec la réduction de la mortalité, ce qui provoque la destruction du système, et son remplacement par celui de « l'explosion démographique ». Il semble nécessaire de porter une attention toute particulière à l'étude des phases de systémogénèse. C'est souvent son étude qui permet d'essayer de répondre à une question fondamentale : pourquoi est-ce ce système là qui fonctionne en un lieu donné et pas un autre ? Chaque cas mérite en général une étude spécifique, mais on peut utilement faire état du rôle fréquent d'un phénomène déclenchant, le « *trigger effect* » des Anglais. Un événement, au sens fort du terme, peut en effet provoquer le début de l'interaction entre des éléments déjà présents, mais qui n'étaient pas jusque là entrés dans un jeu de relations réciproques. Cet événement revêt assez souvent un aspect aléatoire, au moins par rapport aux autres séries causales prises en compte. Par exemple, Haarlem, Ghetto noir de New-York, est interprétable en termes de systèmes, comme j'ai essayé de la montrer par ailleurs (AURIAC et DURAND-DASTES, 1981). Ce système est apparu dans les toutes premières années du XX^e siècle, à l'occasion d'une crise immobilière qui a joué le rôle de « phénomène déclenchant ». Il est infiniment probable que New-York aurait eu son Ghetto noir de toutes façons, car la mise en interaction des éléments du système était elle-même dotée d'une forte probabilité, et la gamme des « phénomènes déclenchants » possible était très étendue. Mais si ce phénomène s'était produit un peu plus tôt ou un peu plus tard que celui qui a été réellement observé, ou si s'il avait été d'une nature différente, et c'est là que s'introduit la composante aléatoire, ce Ghetto serait sans doute localisé ailleurs que dans le quartier appelé Haarlem, et il porterait un autre nom. On

peut faire une analyse du même genre pour l'apparition du quartier à forte population chinoise du XIII^e arrondissement de Paris, et il serait possible de multiplier les exemples.

A partir du moment où la systémogénèse a eu lieu, les propriétés homéostatiques du système maintiennent les caractères de l'espace. En termes diachroniques, on peut dire que l'espace suit un certain cheminement, différent de celui qu'il aurait suivi si la systémogénèse n'avait pas eu lieu, ou plus exactement, si cette systémogénèse là n'avait pas eu lieu. Celle-ci représente donc une bifurcation.

Ce qui précède conduit donc à analyser la différenciation spatiale comme le résultat d'une série de bifurcations, que l'on peut presque toujours situer dans le temps, et dont on peut parfois rendre compte en termes de systémogénèse. Ce qui ne veut pas dire que l'on élimine tout mystère, dans la mesure justement où la systémogénèse comporte souvent des éléments qui apparaissent comme aléatoires ou qui sont essentiellement aléatoires.

Ce point mérite sans doute d'être illustré par un autre exemple. Les situations de développement et de sous-développement peuvent être considérées comme des systèmes socio-économiques qui agissent d'ailleurs l'un sur l'autre (qui peuvent donc être considérés comme des sous-systèmes d'un système mondial...). Il s'est produit à partir des XVII^e-XVIII^e siècles une divergence qui a conduit certains pays vers la situation de sous-développement, d'autres vers celle de développement. Très schématiquement, on peut opposer deux types de théories parmi celles qui tentent de rendre compte de cette divergence :

- Les théories de la différence profondément enracinée

Elles sont très diverses, de valeur très inégale, mais elles posent plus ou moins explicitement que la divergence est profondément enracinée dans le temps long. Pour certaines, généralement considérées comme naïves, ou pire, on a recours aux temps de la nature, ceux de la géologie ou de la climatologie, dont les ordres de grandeur vont de un à quelques centaines de millions d'années. C'est ce que l'on fait, si l'on pose, par exemple, qu'une « malédiction tropicale » engendre le sous-développement. La même naïveté, et bien pire, se retrouve dans les explications racistes, mais elles font référence à des temps plus courts, ceux de la différenciation des groupes humains et de leur mise en place, disons le temps historique long.

Des théories ou des modèles plus subtils, donc plus acceptables, enracinent aussi la divergence dans le temps long de l'histoire. Par exemple, au moins à certains stades de sa réflexion, Y. Lacoste a considéré que la féodalité a été l'antécédent constant du développement, les autres modes de production, comme le mode de production asiatique, l'antécédent constant du sous-développement. Et le glissement de la notion d'antécédent constant à celle de cause est aisé, et, somme toute, assez légitime.

Dans cette perspective, du point de vue qui nous intresse ici, la divergence relativement récente, celles des XVII-XVIII^e siècles, est considérée comme la conséquence d'une divergence plus ancienne, voire beaucoup plus ancienne. En d'autres termes, les systèmes actuels sont considérés comme les successeurs logiques de systèmes antérieurs. La divergence récente est donc considérée comme déterminée au sens fort du terme, par les systèmes qui lui préexistaient. Un démon de Laplace pleinement informé connaissant le système féodal et le système du développement et de celui du sous-développement. Le raisonnement ne fait pas de place à l'aléatoire, au moins pour expliquer ce qui s'est passé aux XVII-XVIII^e siècles.

- Les théories du faible écart initial accentué

On peut donner cette définition un peu caricaturale de théories très en faveur dans le Tiers Monde, qui ont été appliquées avec une netteté particulière à propos de l'Inde. Le schéma du modèle est le suivant :

- Pour toute région du monde, il y a une succession de phases de puissance économique, politique et militaire, (« phases hautes ») et de phases de difficultés, de crise, de décadence, (« phases basses »).
- Ces alternances de phases peuvent avoir leur logique propre, valable dans certains domaines seulement, plus exactement à l'intérieur de chaque domaine spatial.
- L'Europe, notamment la France et l'Angleterre ont connu aux XVII et XVIII^e siècles une phase « haute », alors qu'au même moment, l'Inde connaissait une phase « basse », notamment du point de vue politique et militaire. Ces phases obéissaient à des logiques différentes, il n'y avait pas de rapport entre la décadence de l'Empire mongol, la défaite des Mahrattes devant les Afghans, et la puissance économique, politique et militaire de la France et de l'Angleterre.
- La coïncidence de ces phases hautes et basses a cependant joué un rôle essentiel. C'est elle qui a permis aux Européens de transformer des relations commerciales égalitaires nouées avec l'Inde en relations dissymétriques, avec une domination fondée sur la conquête militaire, et lourde de conséquences économiques.
- A partir du moment où la domination européenne a commencé, elle a déclenché des rétroactions positives, et les cheminements des deux ensembles ont divergé, l'un allant vers le développement, l'autre vers le sous-développement.

Il y a bien un « écart initial » faible, qui relève du décalage des phases, accentué à partir du moment où l'interférence/domination a commencé. La coïncidence des phases hautes et basses est considérée comme une coïncidence au sens fort du terme, c'est à dire qu'elle est vue essentiellement aléatoire. En termes de systèmes, il y avait deux systèmes assez peu différents, assez mal liés entre eux. Une composante aléatoire a provoqué l'apparition d'un déséquilibre, d'une bifurcation, à partir de laquelle se sont formés les sous-systèmes du développement et du sous-développement qui se sont ensuite différenciés de plus en plus nettement par le jeu de boucles de rétroaction positive à l'intérieur de chacun des sous-systèmes, et, par suite de leurs interactions dissymétriques, dans le cadre d'une situation de domination.

La bifurcation procède bien d'une petite différence dans une zone critique, telle qu'elle apparaît dans toutes les définitions de la notion, y compris les plus précisément quantifiées. (Voir à cet égard la contribution de L. Sanders dans le présent volume). Le faible décalage a eu des conséquences très fortes, mais il n'aurait pu être prévu par un démon de Laplace, même très bien informé. C'est en ce sens que le processus présente un aspect aléatoire très marqué qui intervient dans la systémogénèse.

II – Problèmes opérationnels

Si l'on admet que l'on a montré ci-dessus l'utilité de l'analyse de systèmes pour l'explication des localisations, et donc, je crois, de la théorie des systèmes dans la théorie des localisations, il reste à évoquer quelques problèmes sur les modes de mise en œuvre de cette logique dans le travail géographique, ce qu'on peut appeler, faute de mieux, des problèmes opérationnels.

1 - Perspectives diachroniques et synchroniques

Il s'agit là d'une question bien classique, que d'aucuns considéreront peut-être comme banale et rebattue. Mais je voudrais en dire un mot, dans la mesure où la place réservée ci-dessus aux bifurcations et aux processus a mis l'accent sur la perspective diachronique. On peut aussi utiliser des perspectives synchroniques. De ce point de vue, les analyses comparatives dans l'espace montrent qu'on observe souvent qu'à des entrées différentes correspondent des systèmes différents, bien que des relations internes soient de même nature. Je crois avoir montré que des raisonnements de ce genre sont utiles pour la compréhension des systèmes de circulation atmosphérique (DURAND-DASTES, 1977). Par exemple, il existe un « système des moussons », et un « système des alizés ». Dans les deux, les relations s'expriment par la mise en œuvre des mêmes lois physiques, toutes traduisibles en termes d'équations fondamentales. Mais les entrées sont différentes (fuseau océanique dans un cas, fuseau partiellement continental dans l'autre). De même, le « système de la mousson asiatique » et celui de la « mousson africaine » présentent des différences explicables par des nuances dans les entrées.

2 - Utilisation « forte », utilisation faible

Faute de mieux, on peut utiliser les expressions ci-dessus pour désigner deux types différents, mais nullement contradictoires de mise en œuvre opératoire des systèmes. J'appellerai « modèle faible » un modèle qui cherche à rendre compte des grands traits des relations les plus importantes, mais sans en détailler le fonctionnement, et, en général, sans les quantifier. De plus, un modèle faible ne retient souvent qu'une partie des relations envisageables. Il tend à modéliser le banal, et laisse donc des résidus importants ; la mise en évidence de ces résidus, pour poser des interrogations, devient alors un objet important de la recherche. J'appellerai par contre « modèle fort » un modèle pour lequel on a cherché à minimiser les résidus jusqu'à la limite du possible, et à atteindre le maximum de quantification et de précision.

Dans le cas des systèmes, une procédure « forte » ou « faible » peut se traduire par le type de formalisation choisi, comme j'espère le montrer par un exemple. Il est relatif à un modèle de concurrence, celui de Volterra-Lotka, connu sous le nom de modèle proie-prédateur. Sous la forme que j'utiliserai, il est a-spatial, et a surtout de l'intérêt pour l'écologie.

Mais sa logique est utilisable en géographie. On peut envisager quatre formalisations différentes, d'après les travaux de publications de Wilson et la thèse de L. Sanders (SANDERS, 1984).

Formalisation verbale

Soit une population 1, celle des proies dont l'effectif est X_1 . Elle croît linéairement selon un taux a . Il existe cependant une limite à sa croissance, un seuil maximum b ; si bien que sa croissance est en définitive de type logistique. Cette population est dévorée par une population 2, prédatrice dont l'effectif est X_2 . Le nombre d'individus de 1 dévorés dépend d'abord du nombre de rencontres entre les populations. Ce nombre dépend à son tour, d'abord du nombre de rencontres possibles, proportionnel au produit des deux effectifs, et ensuite de la proportion de rencontres effectives par rapport au nombre de rencontres possibles. Appelons c cette proportion. L'effectif X_1 dépend donc du taux de croissance naturel, du seuil supérieur, de l'effectif X_2 , de sa propre valeur (X_1 dépend aussi de X_1 ...) et du taux de rencontres. X_2 dépend de X_1 , le nombre de prédateurs est lié au nombre de proies, mais aussi de l'efficacité de la chasse, c'est à dire du taux de rencontres dévorantes par rapport au nombre de rencontres possibles ; appelons f ce taux. De plus, quand les proies font défaut, la population de prédateurs va diminuer selon un taux e .

Ce modèle est bien celui d'un système, car les interactions et rétroactions sont notoires : plus il y a de proies plus il y a de prédateurs, mais plus il y a de prédateurs, et moins il y a de proies et la boucle tourne. Des équilibres peuvent être atteints qui dépendent essentiellement de la valeur des taux a , b , c , e , et f . Il y a deux types de points d'équilibre : l'un correspond à la destruction totale des deux populations (toutes les proies sont dévorées, les prédateurs s'éteignent à leur tour), l'autre à la coexistence des deux populations avec des effectifs qui oscillent autour de valeurs non nulles.

Cette description verbale est lourde, ne met pas bien en évidence les boucles et ne se prête pas au calcul des effectifs aux points d'équilibre.

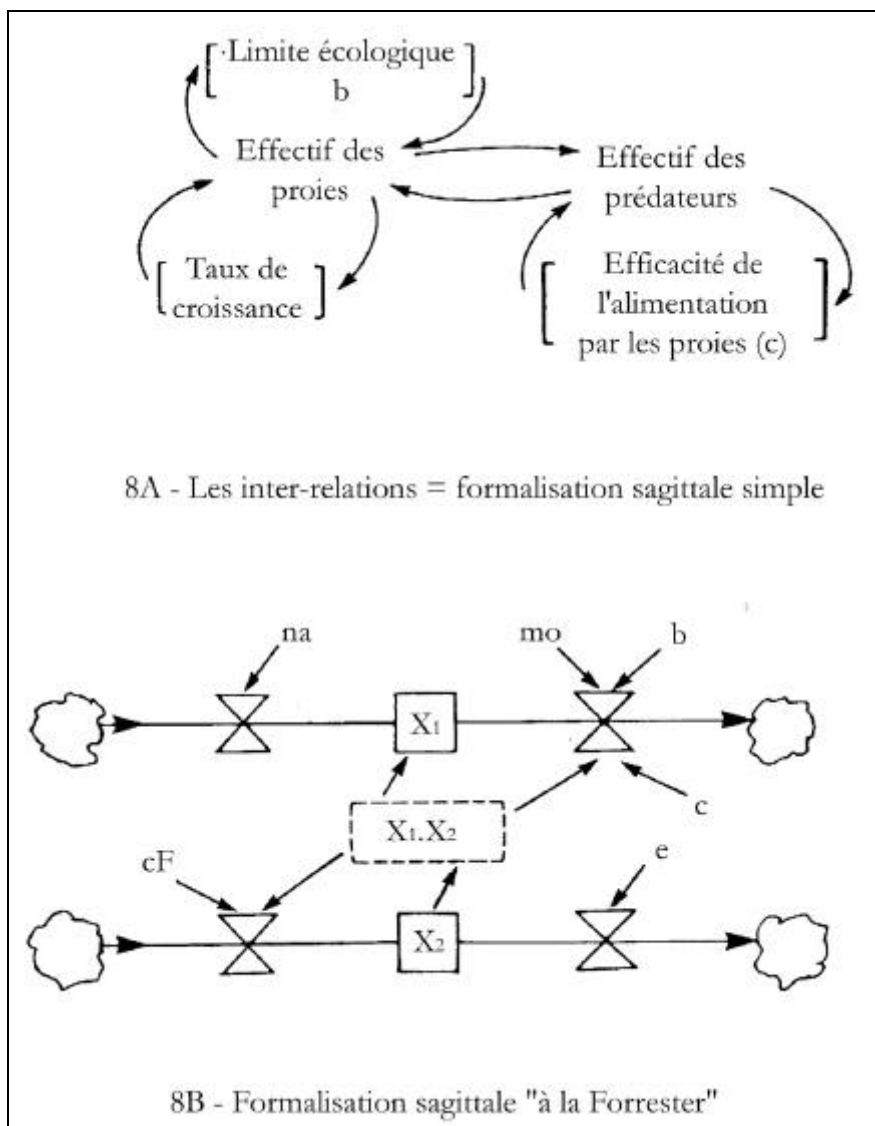
Diagramme sagittal simple

La Figure 8A indique simplement par des traits la relation « influence » et par des expressions entre crochets les processus intermédiaires (par exemple, l'effectif des prédateurs dépend de lui-même par l'intermédiaire de l'efficacité de l'alimentation par les proies de la chasse si l'on préfère). Ce diagramme met bien en valeur les boucles de rétroaction, notamment celle qui lie les effectifs des deux populations et qui aboutit à ce que chacun des effectifs se limite lui-même par l'intermédiaire de l'autre. Mais il ne se prête pas à l'élaboration d'une quantification et n'a de valeur que logique.

Diagramme sagittal de type « Forrester » (FORRESTER, 1969)

Le langage graphique de Forrester a été utilisé pour élaborer la Figure 8B. Les effectifs ou « réservoirs » figurent dans des carrés, les flux sont indiqués par des flèches et dépendent de régulateurs schématisés par des triangles opposés par un sommet. Les flux sont déterminés par les effectifs qu'ils déterminent à leur tour, et par leur taux. Ces influences réciproques sont indiquées par des flèches ; les taux font ici figure de paramètres. Les boucles de rétroaction sont clairement visibles et l'ensemble du diagramme permet de concevoir un système d'équations.

Figure 8 : Le modèle Volterra-Lotka



- X_1 EFFECTIFS PROIES
- X_2 EFFECTIFS PREDATEURS
- b Limite de croissance de X_1
- a Taux de croissance de $X_1 = (na - mo)$
- c Proportions du nombre de rencontres proies-prédateurs aboutissant à la destruction des proies
- e Taux de décroissance de X_2 (prédateurs) en l'absence de proies
- F Efficacité de l'alimentation des prédateurs

Equations différentielles

Les taux de variation des effectifs X_1 et X_2 dans le temps sont notés respectivement $\frac{dX_1}{dt}$ et $\frac{dX_2}{dt}$ et leurs valeurs sont données par les deux équations ci-dessous.

$$\frac{dX_1}{dt} = a\left(1 - \frac{b}{a} X_1\right)X_1 - cX_1X_2 ; \quad \frac{dX_2}{dt} = -eX_2 + fX_1X_2$$

$a\left(1 - \frac{b}{a} X_1\right)X_1$ est l'expression de la croissance logistique.

Elles se prêtent évidemment à des calculs notamment à celui des points d'équilibre.

La formalisation de type sagittal simple ne se prête pas au calcul, à la simulation et à la prévision. Elle a l'avantage d'être assez immédiatement accessible, et économique. Economie qui n'a pas beaucoup d'importance ici, car le modèle est assez simple, le nombre de boucles étant limité. Cet avantage devient très vite apparent dans le cas de modèles de systèmes plus complexes. On s'en convaincra par exemple en se référant aux formalisations successives du modèle Amoral élaboré par nos collègues de Grenoble pour représenter les relations systémiques dans les « pays » des Alpes du Sud (CHAMUSSY, DURAND, GUERIN, LE BERRE, UVIETTA, 1984).

La formalisation sagittale « à la Forrester » et la formalisation mathématique qu'elle prépare, comme un schéma d'algorithme sert souvent à préparer un programme, sont des formalisations qui se prêtent à des utilisations « fortes », à des simulations. Le revers de la médaille, c'est que ces formalisations sont toujours lourdes. C'est déjà visible avec les graphiques à la Forrester qui exigent plus de signes et de place que les graphiques plus simples, pour représenter les mêmes systèmes. Le langage mathématique ou matriciel se prête bien sûr au traitement d'un nombre considérable de relations. Mais avec la multiplication des équations différentielles, l'augmentation corrélatrice du nombre de paramètres, les calibrations deviennent difficiles et le modèle peut échapper au contrôle.

Je conclurai volontiers de ce qui précède que les utilisations « fortes » et « faibles » sont en fait complémentaires, et qu'il peut être utile d'avoir recours successivement aux unes et aux autres. Cette complémentarité est assurée notamment grâce au rôle des homologies, que je voudrais simplement illustrer d'un exemple.

J'ai mentionné ci-dessus le rôle des bifurcations et on pourrait aussi évoquer la notion de catastrophe. Il existe des études mathématiques très élaborées sur les unes et les autres, comme l'a rappelé récemment Wilson (WILSON, 1981), qui montre bien comment des systèmes peuvent basculer d'un point d'équilibre à un autre selon la valeur de certains paramètres. Il est douteux qu'il soit possible de formaliser avec rigueur toutes les bifurcations dont la géographie pourrait faire usage dans l'étude des localisations ; je vois mal par exemple comment mettre en évidence des paramètres significatifs propres à expliquer la bifurcation développement/sous-développement dont il a été question ci-dessus, et encore moins comment on pourrait les calibrer. Mais le fait qu'il existe des descriptions rigoureuses des bifurcations, qu'elles soient étudiées quantitativement, peut, par homologie, servir à fonder ou à confirmer la validité et l'utilité de la notion et à justifier son utilisation « qualitative » ; des études quantifiées peuvent ainsi servir à

fonder en logique des raisonnements plus simplement qualitatifs.

Ainsi, nous avons eu à parcourir constamment toute une gamme de formalisations, depuis des descriptions verbales de systèmes jusqu'à des constructions mathématiques, en passant par diverses formes de diagrammes. On vient de le voir pour les bifurcations ; j'ai essayé de montrer auparavant que l'interaction spatiale peut être représentée par des matrices, mais aussi par des cartes ; que l'interaction des trames peut être traduite aussi bien par des diagrammes que par des matrices. On opère donc assez légitimement un passage constant des formalisations quantitatives aux représentations qualitatives. Le choix est affaire de circonstances ; même si la rigueur des traductions mathématiques peut être considérée comme une solution préférable aux autres, qui doit toujours être recherchée, elle n'est pas une condition sine qua non pour la mise en valeur des interactions, base de la logique des systèmes. C'est celle-ci qui doit permettre une explication rigoureuse des localisations, et c'est bien là l'essentiel ; la variabilité des formalisations possibles est un gage de sa puissance explicative, de son utilité.

Géopoint 84, p. 19-44.

Références :

F. AURIAC et F. DURAND-DASTES, 1981, « réflexions sur quelques développements récents de l'analyse des systèmes dans la géographie française », *Brouillons Dupont*, n° 7, pp. 71-80.

F. AURIAC, 1983, *Système économique et espace*, Paris, Economica.

P. AYDALOT, 1983, « la division spatiale du travail », *Espace et localisations*, Paris, Economica, pp. 175-200.

R. BRUNET, 1973, « structure et dynamique de l'espace français, schéma d'un système », *L'espace Géographique*, pp. 249-256.

H. CHAMUSSY, M.G. DURAND, J.P. GUERIN, M. LE BERRE, P. UVIETTA, 1984 ; « Un système dans le système : le modèle A.M.O.R.A.L. », *Géoscopie de la France*, Paris Minard, pp. 309-325.

G. DESTANNE de BERNIS, 1974, « les origines réelles du sous-développement », *Les Cahiers français*, p. 5-23.

F. DURAND-DASTES, 1977 ; « Systèmes de circulation atmosphérique », *Cahiers du centre de recherche de climatologie de l'Université de Dijon*, n°7, pp.50-80.

J. FORRESTER, 1969, *Urban Dynamics*. Cambridge (Mass.), MIT Press.

L. SANDERS, 1984, *Interaction spatiale et modélisation dynamique. Application aux systèmes urbains*, Thèse Université Paris 7, multigraphiée.

A. WILSON, 1981, *Catastrophe theory and bifurcations. Applications to urban and regional systems*, London, Crom Helm.