

# La modélisation des systèmes dynamiques en Géographie. Problèmes théoriques et méthodologiques

Henri Chamussy  
Université Joseph Fourier  
Institut de Géographie Alpine

## INTRODUCTION

Je voudrais commencer cet exposé par deux citations; bien qu'aucun des deux auteurs de ces citations ne soit Géographe, elles me semblent néanmoins revêtir aujourd'hui une importance particulière pour les Géographes.

La première citation est du moine anglais du Moyen-Age Roger BACON; il a écrit, dans le chapitre V de son *Compendium Studii: La Science n'a jamais commencé. Elle s'est développée peu-à-peu avec le développement du monde des hommes; et elle ne sera jamais accomplie en ce bas-monde.*

La seconde, du philosophe, sociologue et jésuite français Michel de CERVEAU, récemment disparu, dit ceci: *pour se constituer, une Science doit faire son deuil de la totalité et de la réalité.*

Pourquoi commencer une réflexion sur la modélisation des systèmes dynamiques spatiaux par ces deux citations? Parce que les transformations qui se sont produites dans la Géographie française au cours des années 70 et 80 sont, à mon avis, beaucoup plus qu'un simple perfectionnement des techniques de recherche, beaucoup plus qu'un passage de la contemplation et du commentaire de données à l'analyse des données. Il s'agit d'un changement de paradigme, au sens qu'en donne Thomas S. KUHN dans son ouvrage *La Structure des Révolutions Scientifiques*.

Car se sont effacés les deux rêves poursuivis depuis le XIX<sup>e</sup> siècle par presque tous les Géographes français, profondément marqués par le Positivisme: Le rêve de décrire, et donc de connaître le réel, et celui de connaître **tout** le réel.

Il nous faut aujourd'hui abandonner ces rêves admirables, mais insensés et lucifériens. Et je pense que la *weltanschauung* holoniste peut nous aider à accepter ces abandons déchirants. Car, sans même qu'on aille jusqu'à faire sienne une *weltanschauung holoniste*, la référence à la Théorie des Systèmes a été bien souvent adoptée par les Scientifiques (de la Matière, de la Vie, de l'Homme, de la Société) qui ont constaté qu'à un certain stade de la Recherche la méthode cartésienne (appelons-là ainsi pour dire vite) et la vision positiviste du Monde, et donc de

l'objet scientifique, ne permettaient plus de s'affronter à la globalité et à la complexité.

C'est donc dire que, pour moi, utiliser en Géographie l'approche systémique pour modéliser le fonctionnement de l'espace géographique, c'est bien plus qu'introduire de nouvelles techniques et une nouvelle méthodologie; c'est se donner un nouvel état d'esprit.

C'est là que je situe le changement de paradigme dont il était question plus haut: dans ce nouvel état d'esprit, et non point au moment où a été accomplie ce qu'on a appelé (et bien mal nommé d'ailleurs) la **Révolution Quantitative**, c'est-à-dire au moment de l'introduction de la statistique, de l'analyse des données et de l'informatique en Géographie. Et ceci bien qu'en vérité une étude approfondie des pratiques des chercheurs en Géographie fasse apparaître que le passage par cette *Révolution Quantitative* était une étape indispensable.

#### 1.-THEORIE DES SYSTEMES, APPROCHE SYSTEMIQUE, DYNAMIQUE DES SYSTEMES

Il m'a toujours paru important qu'un Géographe soit très explicite et très clair dans son discours, surtout en cette période de foisonnement, parfois confus, que traverse sa Science, c'est-à-dire qu'il définisse avec autant d'acuité que faire se peut les termes et les concepts qu'il utilise, dans des domaines où la polysémie est fréquente.

C'est pourquoi je vais préciser quel sens j'entends donner à quelques expressions qui reviennent fréquemment; j'ai parfaitement conscience que tous les chercheurs peuvent ne pas être d'accord avec mes définitions, mais au moins évitera-t-on peut-être le risque de ne pas se comprendre.

1.1.- La **Théorie des Systèmes** est, pour moi, une **théorie scientifique** dont le premier exposé global, la première formulation et, pourrait-on dire, la première formalisation, ont été faits par Ludwig von BERTALANFFY dans son ouvrage *General System Theory*; nous disposons également d'une bonne présentation dans le livre de Jean-Louis LEMOIGNE, *La Théorie du Système Général* et d'une vulgarisation très accessible au grand public avec le célèbre livre de Joël de Rosnay, *le Macroscopie*.

Bien entendu, il est difficile d'imaginer l'émergence de cette théorie scientifique sans la référence à la *weltanschauung* holoniste à laquelle il a été fait allusion plus haut. La vision holoniste du Monde n'est pas une conception de scientifiques contemporains. On la retrouve chez des Présocratiques (que ne retrouve-t-on pas chez eux?!) et en particulier chez HERACLITE, dont il est habituel d'opposer les idées holonistes à l'approche analytique d'ARISTOTE. Cette vision du Monde traverse les siècles, en subissant de nombreux avatars, voire parfois d'insidieuses perversions. Mario BUNGE écrit dans *A World of Systems* (volume 4 du

Treatise on basic Philosophy) qu'on ne doit pas *confondre la weltanschauung* [systémiste] dans la lignée de certaines traditions philosophiques, avec la philosophie des systèmes, version vulgarisée du holisme, selon laquelle toute chose est un système (ce qui est faux) et pour qui la structure de l'être et du devenir sont pratiquement identiques à tous les niveaux (ce qui est faux). Je ne serais pas aussi brutal que Mario BUNGE, mais au moins cette citation a-t-elle l'avantage de souligner l'extrême prudence épistémologique avec laquelle il faut avancer sur ce terrain brûlant qu'est la philosophie des sciences.

Quoi qu'il en soit, toutes les théories scientifiques sont plus ou moins enracinées dans le terreau d'une *weltanschauung*, d'une vision du Monde, d'une *imago mundi*, et parfois même se confondent avec elles en dérive idéologique (ce qui peut éventuellement être dommageable par la connaissance scientifique). Ce fut le cas de la théorie newtonienne, de l'évolutionnisme lamarckien ou darwinien, du matérialisme dialectique. Jürgen HABERMAS, dans *La Technique et la Science comme idéologie*, Herbert MARCUSE dans *L'Homme unidimensionnel*, ont mis en lumière l'idéologie (souvent implicite) de la *science dure* contemporaine. Pourquoi les Scientifiques qui se réclament explicitement dans leurs travaux de la Théorie des Systèmes n'auraient-ils pas le droit de se référer, dans leur vision du Monde, à une philosophie holoniste qui, déjà discernable chez des Présocratiques, mais occultée dans la Pensée occidentale (et particulièrement française) par l'Aristotélisme et le Cartésianisme, jaillit cependant avec force à certaines époques, chez des gens comme Roger BACON, Blaise PASCAL, Pierre TEL-LHARD de CHARDIN et bien d'autres?

Mais laissons là ce problème de conception du Monde, qu'un Scientifique ne peut éluder facilement; ne revenons plus pour l'instant sur la philosophie des systèmes et restons-en au systémisme en tant que théorie scientifique stricto sensu. Le rôle d'une théorie scientifique est de fournir au chercheur des concepts, de l'aider à expliciter les problèmes que lui pose l'élucidation du monde sensible et à disposer d'une méthode pour ces tentatives d'élucidation; guidé par la théorie, le Scientifique peut aussi formuler des hypothèses et, grâce, à elles, par une démarche hypothético-déductive, élaborer une dialectique qui fasse alterner l'observation du monde sensible, et donc l'induction et l'explication (le mot d'élucidation me semble meilleur, mais le premier terme est consacré par l'usage) des problèmes que pose son fonctionnement, avec la déduction. Cette démarche doit aboutir à un discours rationnel et communicable sur le Monde, c'est-à-dire à des formulations pouvant être soumises à une critique poppérienne, et donc considérées comme vraies aussi longtemps qu'une nouvelle démarche scientifique ne les aura pas montrées fausses.

1.2. L'approche systémique est la formulation d'une problématique scientifique en référence à l'esprit de la Théorie des Systèmes. C'est cette approche que j'ai choisie pour faire de la Géographie, ce qui n'est pas toujours aisé pour un Français élevé dès son jeune âge dans le sérail cartésien. En simplifiant très grossièrement, cela consiste à tenter de conserver, tout au long du travail de recherche et de réflexion, une vision globale de l'objet scientifique (le plus

souvent, pour un Géographe, une portion de l'espace géographique), à toujours considérer que l'attention du chercheur doit se porter d'abord et plutôt sur les relations entre les éléments de l'ensemble que sur les éléments eux-mêmes, à ne jamais isoler le simplexe du complexe dont il fait partie (ce qui découle des deux premières propositions), et enfin à tenter d'élucider le **comment** plutôt que le **pour-quoi** du fonctionnement du système.

1.3. Enfin, étudier la **dynamique des systèmes** consiste à modéliser, ou à tenter de modéliser l'objet scientifique que le chercheur s'est donné, et qu'il considère comme un système. Le but est de fournir un modèle aussi formalisé que faire se peut, et, si possible, un modèle dynamique susceptible d'être écrit en langage informatique, sur lequel on puisse se livrer à des simulations, c'est-à-dire à ce qui, pour un chercheur en Sciences Humaines et Sociales, se rapproche le plus de l'expérimentation des chercheurs dans les Sciences de la Matière et de la Vie. La différence entre expérimentation et simulation est d'ailleurs de plus en plus ténue, et dans le livre dirigé par Isabelle STENGERS, *Des concepts nomades*, Pierre LEVY écrit: *Bien entendu, les simulations numériques ne sont pas de véritables expériences, puisqu'elles ne portent pas sur les phénomènes, mais sur des modèles de ceux-ci. Il faut néanmoins remarquer que l'expérience scientifique classique opère déjà une manière d'idéalisation, de purification et de construction artificielle de son objet. On peut donc considérer la simulation numérique comme un degré supplémentaire dans l'artifice visant le contrôle et la purification du phénomène.*

## 2.- UNE THEORIE POUR LA GEOGRAPHIE?

Il me semble que, contrairement à la plupart des autres Scientifiques (y compris, bien sûr, les Scientifiques de l'Homme et de la Société), les Géographes ont toujours souffert d'un manque de théories de référence. Ils ont souvent disposé de théories partielles ou de modèles explicatifs, ce qui est la même chose; selon Gilles-Gaston GRANGER, *entre modèle et théorie, il n'y a qu'une différence de degré et non une différence de nature*. La théorie est un modèle plus ample et plus ambitieux, le modèle n'est qu'une théorie plus locale et plus immédiatement révisable en fonction de résultats expérimentaux.

Pour prendre quelques exemples bien connus, les Géomorphologues ont pendant longtemps disposé d'une théorie explicative, la théorie des cycles d'érosion, dite théorie davisienne. Ils s'y référaient constamment et y puisaient des concepts, une problématique, et une méthode pour expliquer les formes du relief qu'ils observaient. Comme tout modèle explicatif, le modèle davisien s'est enrichi, a évolué, puis s'est peu-à-peu révélé inadéquat; il s'est alors effacé devant d'autres théories, souvent partiellement nées de lui, par exemple le modèle de la morphologie climatique. Mais, de toute façon, les modèles explicatifs des Géomorphologues ne pouvaient pas constituer une théorie intégrante pour la Géographie; ils étaient strictement élaborés pour l'étude des formes du relief, et seuls les morphologues pouvaient s'en réclamer; ils n'étaient, évidemment, d'aucun secours pour les

Géographes qui traitaient des localisations urbaines par exemple. Ces derniers disposaient d'un modèle -d'ailleurs peu connu dans la Géographie francophone-, la théorie des places centrales, élaborée par CHRISTALLER et LOECH.

De toute évidence, aucun de ces modèles explicatifs -ou n'importe lequel des autres modèles utilisés- ne couvrait tout le champ de la Géographie. Un morphologue qui ne faisait que de la géomorphologie, ou un chercheur exclusivement spécialisé dans l'étude de l'organisation spatiale des réseaux urbains, pouvaient s'y référer pour y intégrer la globalité de leur objet scientifique. Mais le Géographe qui voulait faire un discours de Géographie Régionales -considéré pourtant pendant longtemps comme le *nec plus ultra* du discours géographique- n'avait à sa disposition aucune théorie globale. Si la Géographie est, comme des Géographes de plus en plus nombreux s'accordent pour le dire, l'étude scientifique de l'organisation de l'espace par les sociétés, alors, on a beau chercher, on ne trouve nulle part e jamais dans l'histoire de la Géographie, une théorie assez puissante pour fonctionner comme théorie intégrante. Au contraire, les modèles explicatifs élaborés par les chercheurs tendaient à éloigner l'une de l'autre la Géographie Physique et la Géographie Humaine., car ils contenaient une charge de plus en plus importante de logiques naturalistes ou de logiques sociales. Ainsi se perdait une spécificité fondamentale de la Géographie, souvent affirmée, rarement pratiquée, celle de l'étude de l'organisation d'un espace par l'imbrication d'ontologies et de dynamismes *physiques* et *sociaux*.

Or, si le Géographe considère un espace qu'il a choisi comme objet d'étude, et devenu de ce fait un objet scientifique, et qu'il doit donc **modéliser** pour **simuler** son fonctionnement, en portant d'abord son attention sur les interrelations entre les éléments, alors la problématique traditionnelle est profondément renouvelée. S'il n'observe pas en premier lieu la montagne, ou la mer, ou le climat, ou la structure sociale, mais qu'il tente de révéler les relations, les rétroactions qui jouent entre la société et la montagne, la mer ou le climat, il dispose peut-être d'une clé qui lui ouvre une compréhension, une **intelligence de l'espace géographique**, et même d'une **grammaire** qui lui permet d'articuler son discours. Or, on l'a déjà dit, cette attention première aux relations est la démarche primordiale de l'approche systémique.

La théorie dit au chercheur que, de l'objet qu'il étudie, considéré comme un système, il lui faut exhiber des relations qui fonctionnent en boucles de rétroaction; elle le conduit à chercher la dynamique du système, et ce qui crée et entretient cette dynamique: les **rétroactions négatives** qui, conservant des *valeurs* grossièrement constantes aux rapports réciproques, assurent l'équilibre général du système; les **rétroactions positives** qui tendent à rompre cet équilibre et à transformer le système en un autre système, en passant par une **bifurcation**. Il s'agit bien d'une phase méthodologiquement **déductive** du travail: en utilisant la théorie, le scientifique sait a priori qu'il y a, dans le système qu'il a objectivé, des relations, des rétroactions positives et négatives, un dynamisme, une possibilité (une probabilité) d'équilibre ou de bifurcation.

La phase **inductive** consiste à observer le monde sensible (ce qu'on peut nommer la **réalité**, en conservant à l'esprit le risque épistémologique que ce

concept connote). En se référant à tout ce que son expérience lui fournit de connaissance de ce monde sensible, il est en mesure de construire (ou de reconstruire) son objet d'étude, de dessiner les relations qu'il juge les plus importantes, les plus pertinentes, de simplifier ce qu'il intelligibilise, de dessiner le graphe des relations, de disposer les éléments qui sont au cœur de ces relations (les noeuds du graphe). Il suggère un corps d'hypothèses: c'est le discours sur l'objet.

La phase terminale de la reconstruction de l'objet est alors la formalisation du modèle. Il s'agit d'une formidable opération de réduction du monde sensible observé, et d'une translation -d'une traduction en fait- de ce monde sensible en objets conceptuels puisés dans le magasin des objets conceptuels de la théorie, ou éventuellement dérivés d'une autre théorie, au créés pour les besoins de la recherche et qui viendront enrichir la théorie de référence. Dans la phase de formalisation, ces objets conceptuels sont, à leur tour, par une nouvelle abstraction, représentés par une valeur, une numérisation. C'est à dessein que je n'emploie pas le mot de quantification, car la quantification ne peut résulter que d'une opération de mesure ou de dénombrement; il y a beaucoup à dire sur ce problème de la numérisation, mais ce n'est pas le lieu ici d'en parler; il mérite des développements spécifiques, et une réflexion approfondie.

La construction du modèle est, à nouveau, une phase déductive. Le modèle du système est un fruit de la théorie, construit avec des concepts fournis par la théorie. Claude BERNARD a dit, il y a longtemps, qu'on ne rencontrait pas de systèmes dans la Nature. Et, certes, on ne rencontre jamais, dans le monde sensible, de boucles de rétroaction, de variables d'état ou de variables intermédiaires, de délais, de bifurcations... Dans la Nature dans laquelle il se promène, le Géographe identifie des gens ou des groupes de gens, des arbres et des forêts, des montagnes, des fleuves, de la neige et du vent, du froid et du chaud. Et encore...; identifier ces existants, c'est déjà les reconstruire; c'est, au moins, les signifier. Souvenons-nous de Ludwig WITTGENSTEIN lorsqu'il s'interroge sur le Temps et se demande s'il s'agit d'une réalité: *Mais la couleur seule, elle aussi, n'est-elle pas qu'une possibilité, aussi longtemps qu'elle n'existe pas dans un temps et dans un lieu déterminé?* (Remarques Philosophiques, 143) L'existant est toujours unique; seule l'abstraction conduit au pluriel, puis au général.

C'est un acte social qui signifie, c'est-à-dire qui donne, par le moyen d'un signe, un sens à la Nature. Mais, pour un Scientifique qui n'est pas un pur idéologue, la Nature existe, en deçà du signe. Elle a une réalité existentielle, une ontologie. Il est intéressant de constater, dans la Géographie francophone, qu'après une longue phase de réification de la Nature (qui a été cause de la place dominante de la Géographie Physique, et en particulier de la Géomorphologie, étude des formes qui se voient), certains Géographes traversent aujourd'hui une phase de refus de la Nature. *Tout est social*, disent les auteurs les plus intégristes du courant baptisé *Géographie sociale*. Mais j'ai le droit de penser que l'existence des phénomènes physiques n'est pas sociale. Je dirais volontiers qu'elle est socialisée. Les hurricanes des Caraïbes, les inondations au Bengla-Desh sont des réalités, préables à leur socialisation; c'est ce que Jean-Pierre MARACHAND analyse si

finement dans le concept de **contraintes physiques**. Les ouragans tropicaux n'ont évidemment pas les mêmes conséquences à la Jamaïque, au Mexique ou au Texas, et les drames bengla-deshiens proviennent de la conjonction de l'extrême précarité des populations du delta du Gange et de phénomènes climatiques.

C'est très précisément ce réseau d'interrelations bouclées entre réseaux de relations sociales et réseaux de relations physiques qu'une démarche scientifique fondée sur une approche systémique permet de modéliser.

Puis-je citer une anecdote personnelle? Me trouvant en visite à l'Université d'Umea, dans le Norrland suédois, j'avais remarqué que les parcs de stationnement du campus étaient équipés de parcomètres, et j'avais été étonné que l'on puisse faire payer le stationnement de leurs voitures aux professeurs et aux étudiants... Bien entendu, ce n'étaient pas des parcomètres; il s'agissait de bornes électriques sur lesquelles on peut brancher les voitures pendant les froids extrêmes de l'hiver, afin de faciliter leur démarrage. Le froid a été socialisé. En tant que contrainte physique empêchant une utilisation *normale* de la voiture individuelle (normale pour des gens des latitudes moyennes) il semble avoir été annulé. Annulé? C'est une illusion; il a simplement été transféré, par son intégration dans une relations bouclée sur la société. Car cet équipement des parcs de stationnement a coûté cher, et le prix payé par l'Université, et tous les autres organismes ou particuliers qui disposent du même équipement, se retrouve nécessairement à divers endroits du modèle que l'on pourrait faire de l'organisation spatiale du Norrland suédois. Nier la Nature (je suis bien conscient de l'ambiguïté du mot *Nature*, mais je n'en dispose pas d'autre, sauf à écrire de lourdes périphrases) comme certains veulent le faire, ou feignent de la faire, me semble aussi regrettable pour la connaissance géographique que la surdétermination dont on a longtemps, dans la lignée vidalienne, honoré cette Nature. L'approche systémique m'apparaît pertinente et appropriée, non seulement pour étudier les interrelations entre Société et Nature, mais plus encore peut-être pour réinsérer le fait social dans une Nature dont il fait partie, et dont je pense qu'il n'aurait jamais dû être isolé. L'être au monde heideggerien rejoint ici l'esprit de SPINOZA lorsque le philosophe écrit dans l'Étique (livre 4, propriété 4): *L'Homme n'est pas, à l'égard de la Nature, un empire dans un empire; il ne se peut pas qu'il ne soit pas une partie de la Nature.*

Retournons à Ludwig WITTGENSTEIN: *Le monde est l'ensemble des faits, non l'ensemble des choses.* (Tractatus logico-philosophicus, 1.1.) Or les Géographes se sont, en général, intéressés beaucoup plus aux *choses* qu'aux *faits*. Ils ont étudié les villes beaucoup plus que le fait urbain, les campagnes beaucoup plus que le fait rural, les surfaces d'érosion beaucoup plus que l'érosion. Et lorsque'ils étudient des faits, ils les réifient; par exemple, la région est un fait; les Géographes de l'école vidalienne en ont fait une chose. Mais qu'est-ce qu'un fait, sinon le lieu d'ancrage de relations qui irradiant (aléatoirement? nécessairement? c'est un autre débat) un ensemble de choses qui, sans cela, ne serait qu'une collection d'objets inertes? Écoutons encore WITTGENSTEIN (Tractatus logico-philosophicus, 2.034): *La structure du fait consiste dans la structure des états de choses.* La référence à la théorie des systèmes nous permet d'atteindre

à cette étude des faits: L'ensemble des variables d'état à un instant donné révèle la structure du système; c'est la structure des états-de choses. Elle va nous conduire à la structure du fait -cet espace géographique qui es notre objet d'étude.

Si on tente de résumer le confort dans lequel l'approche systémique met le chercheur en Géographie, on peut dire qu'au delà d'une *imago mundi* et d'une manière d'être au monde qui le place dans un état psychologique favorable, cette approche systémique est à la fois riche et heuristique,

-parce que, seule aujourd'hui, elle permet d'affronter le global et le complexe (affrontement quotidien pour le Géographe),

-parce que l'attention portée d'abord aux interrelations permet d'approcher un objectif secrètement rêvé par la plupart des Géographes: réintroduire la Société dans la Nature, et la Nature dans la Société,

-parce qu'elle permet la construction de modèles systémiques sur lesquels le chercheur peut simuler sous hypothèses le fonctionnement des systèmes spatiaux.

### 3.- PROBLEMES DE METHODE

Adopter l'approche systémique pour modéliser un système dynamique spatial entraîne également l'adoption d'une méthode de modélisation, assez souple pour s'adapter à des démarches spécifiques à l'objet modélisé, mais rigoureuses dans les processus de modélisation. Je vais en expliciter rapidement quelques uns des traits les plus saillants, de manière empirique, c'est-à dire en exposant certains des problèmes et certaines des difficultés méthodologiques (et non pas techniques) qui se sont posés et se posent encore au cours de la conception et de la construction de deux modèles.

#### 3.1.- Le modèle AMORAL

3.1.1. Les conditions du problème posé aux concepteurs du modèle AMORAL ont été les suivantes: la constructions du modèle AMORAL a été faite dans le cadre d'un travail de recherche intermédiaire entre une recherche fondamentale et une recherche appliquée. La D.A.T.A.R. (Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale) était, à l'époque, -1981- préoccupée par l'hémorragie démographique et la situation économique des Préalpes françaises du Sud, c'est-à-dire des massifs de montagnes sèches de moyenne altitude situés entre la vallée de la Durance et la vallée du Var à l'Est, et la vallée du Rhône à l'Ouest. S'agissait d'espaces presque exclusivement ruraux, il ne pouvait être question d'opérations d'aménagement lourdes, mais d'interventions ponctuelles destinées à maintenir et renforcer un certain niveau de services et à tenter deconforter un tissu social en voie de désagrégation.

La situation des Préalpes du Sud était bien connue des Géographes; elle est celle, fréquemment rencontrée, de tous les espaces ruraux mal insérés dans un pays



industrialisé; en simplifiant, on peut les considérer comme des **espaces périphériques**; les analyses descriptives de ces cas, et en particulier des Préalpes françaises du Sud, ne manquent pas, mais jamais, notre connaissance, un modèle formalisé susceptible de supporter des simulations n'avait été construit.

Le modèle AMORAL (Analyse et MOdélisation Régionale des ALpes) a été réalisé par une équipe composée de: Henri CHAMUSSY, Marie-Geneviève DURAND, Jean-Paul GUERIN, Maryvonne LE BERRE, Patrice UVIETTA (Université Joseph Fourier Grenoble 1: Institut de Géographie Alpine et Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées). Le travail consistait à construire un modèle dans lequel seraient clairement identifiées les boucles de rétroaction négative qui assureraient encore un certain équilibre du système, et les boucles de rétroaction positive qui, en détruisant les équilibres anciens, risquaient d'entraîner à court terme la fin du système. Le modèle une fois construit et opérationnel, une série de simulations sous hypothèses devait permettre d'expérimenter des interventions possibles; la parole devait ensuite passer aux aménageurs et aux décideurs politiques, qui disposeraient, pour prendre leurs décisions, d'un outil opérationnel.

Le rôle des Géographes se limitait donc à:

-modéliser le fonctionnement de l'espace (ou d'un espace de référence) des Préalpes françaises du Sud'

-simuler des interventions volontaristes, afin de voir quelles pouvaient être les actions les plus efficaces pour briser, et éventuellement renverser la dynamique d'abandon observée

Il s'agit donc d'une recherche appliquée à finalité nettement définie, mais l'équipe impliquée dans la construction du modèle a voulu en faire également une réflexion sur l'approche systémique et la construction de modèles systémiques en Géographie.

3.1.2. La démarche adoptée a été une approche de modélisation des systèmes dynamiques inspirée des travaux de Jay W.FORRESTER au M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology); pour des raisons de disponibilité et d'accessibilité, le modèle a été écrit dans le langage DYNAMO implanté au C.I.C.G. (Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble), bien que ce langage, déjà ancien, ne donne pas toute satisfaction du point de vue technique.

La première phase de travail a été une phase d'analyse des données classique, destinée à parfaire la connaissance de l'espace étudié: régressions multiples, analyses de variance, analyses factorielles (en composantes principales ou des correspondances selon les cas) afin d'exhiber un espace de référence, en quelque sorte un espace-type. L'espace retenu, construction mentale théorique mais non totalement abstraite, correspond à peu-près à l'échelle d'un *canton* (subdivision d'un département), portion d'espace considérée comme la cellule sociale et économique la plus pertinente pour la finalité de la recherche.

Construire un modèle permet, et même exige, de clarifier et d'explicitier des hypothèses qui, sans cela, restent souvent implicites dans le discours des Géographes. La nécessaire, et souvent drastique, simplification du *monde sensible*, du *réel observé*, qu'est la modélisation, oblige à une très grande clairvoyance afin de conserver les relations essentielles, ou jugées telles, et de bien retenir les variables interreliées qui constituent la **structure** du système et fournissent à chaque instant l'état de ce système. Il est, en conséquence, indispensable d'adopter une **démarche descendante** afin de conserver à l'esprit, tout au long de la recherche, la **globalité** du système en en assurant progressivement la désagrégation (ce qui n'est contradictoire qu'en apparence). La démarche descendante permet en outre d'éviter un défaut fréquent de la modélisation, qui consiste à détailler trop certaines parties (certains sous-systèmes), conduisant ainsi, soit à un modèle déséquilibré, soit à un modèle trop compliqué et dont l'interprétation serait malaisée, voire impossible.

3.1.3. C'est au cours de la phase de démarche descendante qu'ont été identifiées les relations considérées comme les plus pertinentes -celles qui ont, à la fois, la plus grande charge descriptive du système et le meilleur pouvoir explicatif, et les variables qu'elles relient, principalement les variables de état. Un coup d'oeil sur la **figure 1** permet de comprendre pourquoi il est indispensable, comme cela a été souligné à plusieurs reprises, de simplifier drastiquement le monde tel que nous l'observons. Malgré la complexité du graphe qui apparaît sur cette figure, le modèle AMORAL ne comporte que sept variables d'état. On les voit sur la **figure 2**, graphe très simplifié qui transcrit la structure du modèle. Ces variables d'état sont des variables quantitatives, des variables de stock: si on les passe rapidement en revue, on trouve:

-**POPTOT**, population permanente totale de l'espace considéré; c'est le stock démographique brut en un instant donné.

-**FEMME**: il s'agit du nombre de femmes de 25 à 35 ans résidant sur l'espace considéré. Les choix de cette variable d'état est le résultat d'une hypothèse: le rôle considérable joué par les femmes jeunes dans la résistance du tissu social à la désagrégation; les campagnes désertées le sont souvent d'abord par les jeunes femmes et, inversement, une forte proportion de jeunes femmes indique un espace rural encore actif; une augmentation de la proportion des femmes jeunes dans la population totale a donc semblé un indicateur pertinent d'inversion de tendance générale.

-**MONOAC**: est une variable indiquant le nombre d'emplois monoactifs non agricoles; elle est donc indicateur à la fois d'un niveau de services qui est lié à la persistance, ou -si elle diminue- à l'affaiblissement des activités agricoles, mais aussi à l'existence -ou la non-existence- d'activités non agricoles en milieu rural; on observe que, dans les espaces périphériques (au sens qui a été sonné plus haut) les seules activités agricoles ne suffisent plus à assurer la survie économique, démographique et sociale d'un espace.

-TURDIF: est la variable d'état qui prend en compte le tourisme diffus; tourisme, car, dans ces espaces marginalisés, il s'agit souvent de la seule activité en développement, et son rôle n'est pas mince dans ces montagnes sèches, considérées dans la conscience collective comme pittoresques, sauvages, *belles*, et sujettes à un climat de caractéristiques plus ou moins méditerranéennes; diffus, car il ne s'agit pas d'un tourisme de concentration dans des grosses stations, mais d'un saupoudrage d'estivants dans des infrastructures légères (petits hôtels, gîtes ruraux, terrains pour campeurs et caravaniers, hébergements collectifs, camps de jeunes, etc...)

-RESEC est la variable des résidences secondaires, variable *touristique* spécifiquement française; la densité des résidences secondaires est liée à la fois aux caractéristiques de l'espace (climat, paysages, disponibilités foncières, politiques municipales) et à la proximité d'agglomérations urbaines pourvoyeuses de propriétaires de résidences secondaires; Lyon et Marseille, deuxième et troisième agglomérations françaises, et les villes moyennes de la vallée du Rhône sont proches des Préalpes du Sud, grâce à un réseau autoroutier et routier efficace; il faut ajouter des Parisiens, comme partout en France, et un nombre croissant de résidents secondaires étrangers, surtout néerlandais et allemands. Le rôle de ces résidents secondaires dans l'activité d'un espace est très ambigu et discuté; il peut être porteur d'une *reprise*, créateur d'emplois divers; il peut être aussi stérilisant, accentuant le sentiment de dépossession et de déréliction des populations locales.

-PLURAC est la variable des emplois pluriactifs comportant une activité agricole. La pertinence de cette variable repose sur l'hypothèse que, l'agriculture ne suffisant pas en général, dans les Préalpes du Sud, à faire vivre une famille, il est essentiel pour les agriculteurs, de trouver des emplois à temps partiel, par exemple saisonniers; ces emplois, souvent occupés par des jeunes, qui permettent le *maintien au pays*, sont très fréquemment liés, de manière directe (terrains de camping, gîtes ruraux...) ou indirecte (métiers du bâtiment...) aux activités touristiques.

-LOGLOC est la variable qui prend en compte la disponibilité en logement locatifs; elle repose sur l'hypothèse, fréquemment vérifiée, que l'installation de néo-ruraux attirés par d'éventuelles possibilités de travail, est freinée par l'impossibilité de trouver des logements dans l'espace rural, les populations locales se refusant à louer et/ou le parc immobilier étant dans un état d'extrême inconfort et de vétusté.

D'autres variables ont été retenues, car les concepteurs du modèle ont jugé qu'elles étaient indispensables pour assurer la dynamique du système, mais ce ne sont pas des variables d'état; elles ne peuvent pas être quantifiées, au sens strict du terme, soit qu'il soit impossible de leur attribuer une quantité ou une mesure quelconque (les deux seuls procédés de quantification), soit qu'elles représentent, en fait, une sorte d'abstraction. Elles sont numérisées, et la valeur choisie est la moins arbitraire possible en fonction d'indicateurs jugés pertinents. Cette numérisation est faite sur une échelle (en général de 0 à 10). Ces variables numérisées

permettent tous les scénarios souhaitables (dans les limites de la pertinence). On peut citer, par exemple, APTINO, qui tente de prendre en compte l'aptitude d'une population locale ou enrichie d'éléments immigrés à saisir l'occasion d'innovations dans le domaine agricole, commercial, social; cette variable n'est évidemment pas indépendante des caractéristiques démographiques de la population. RELINT Est la variable qui prend en compte l'intensité des relations sociales, et donc la résistance ou la désagrégation du tissu social; IMAGE est la variable qui supporte la représentation qu'on se fait de l'espace considéré à l'extérieur de cet espace; elle joue un rôle important pour la croissance du tourisme diffus et l'implantation des résidences secondaires.

3.1.4. Il n'était possible de considérer l'ensemble des Préalpes du Sud comme susceptible de suggérer un **modèle uniforme**. C'est pourquoi, une fois identifié et décrit le système le plus général possible, les concepteurs du modèle ont différencié **trois variantes du modèle**, -si l'on veut, trois variantes du modèle du même système, mais avec des rapports différents entre les valeurs des variables d'état à l'initialisation. Ces trois variantes correspondent:

-aux espaces vidés de tout dynamisme, tellement vieilliss démographiquement que la population locale n'est plus en mesure d'assurer un renversement, ni même un freinage, de la tendance d'abandon, éloignés des axes de circulation et de villes, peu touchés par le tourisme ou par quelque innovation que ce soit; il n'existe même plus d'innervation du tissu par des bourgs -centres de services, eux-mêmes en voie de désagrégation.

-aux espaces où le tourisme diffus est devenu le principal, voire souvent le seul moteur de la vie économique; l'agriculture n'est plus qu'une activité relictuelle, marginalisée, mais des activités comme le bâtiment, les commerces quotidiens, survivent, voire connaissent quelque développement. Cela permet parfois un certain rajeunissement de la population (par freinage de l'immigration ou installation de néo-ruraux).

-aux espaces où subsiste un bourg-centre, voire une toute petite ville pourvoyeuse de services commerciaux et administratifs, d'un artisanat; l'éventuelle vitalité, ou du moins résistance à la désagrégation de ce centre est en symbiose étroite avec une certaine résistance du tissu rural à la désagrégation. Le problème est de savoir si cette résistance persistera.

A partir de ces trois variantes d'un même modèle, tous les scénarios sont possibles. L'équipe au travail en a essayé expérimentalement de très nombreux, et l'étude de leurs résultats a été fort instructive; il est tout-à-fait passionnant de risquer des scénarios fort divers, y compris des scénarios de l'innacceptable, de l'improbable, voire de l'impossible! Mais ce n'est pas le rôle du Géographe -en tant que scientifique- de prendre les décisions d'intervention en aménagement; le modèle, livré clés en mains, appartient désormais aux aménageurs professionnels et aux politiques.

3.1.5. Malgré l'importance donnée, dans la première partie de cet exposé, à l'approche systémique comme moyen d'intégrer société et contraintes naturelles, on remarque que le modèle AMORAL ne comporte pas de variables dites *naturelles*. En fait, il en comporte une, ICLOIS, qui est un indice composite de cloisonnement, dont le rôle est de prendre en compte la plus ou moins grande facilité de circulation dans l'espace considéré.

Il y a une raison à cela, qui est l'homogénéité physique de l'ensemble des Préalpes françaises du Sud, du moins au niveau de réflexion où se sont placés les concepteurs du modèle; bien entendu, il est intuitivement évident qu'on pourrait identifier maintes boucles de rétroaction entre les sociétés rurales des Préalpes du Sud et les nombreuses contraintes naturelles de ces Préalpes (altitude, cloisonnement du relief, sécheresse estivale, neige hivernale, brutales irrégularités des cours d'eau, maigreur des sols -elles-mêmes bouclées entre elles), mais ces contraintes jouent à peu-près de la même manière sur tout l'espace pré-alpin méridional, et, dans la finalité d'utilisation du modèle, on pouvait donc s'en affranchir sans grands risques et au gain d'un considérable allègement. Il va de soi qu'un modèle dont on voudrait l'application plus généralisée aux espaces ruraux périphériques, quels qu'ils soient, devrait intégrer les boucles de plusieurs de ces contraintes physiques. Mais, une fois faite cette déclaration d'intention, il ne faut pas se cacher que la construction d'un tel modèle pose encore de nombreux problèmes, mal connus, aux réponses techniques et épistémologiques peu évidentes, voire même certainement des pièges encore non décelés.

### 3.2.- Le modèle BIBINE

Le lien entre logiques dites *naturelles* (soit celles des Sciences de la Matière et de la Vie) et logiques dites *sociales* est au coeur de la problématique du modèle BIBINE. On restera cependant beaucoup moins longtemps sur ce modèle pour la simple raison qu'il est encore presque à l'état d'ébauche expérimentale et que, si les moyens matériels suivent, il en sera certainement construit des versions beaucoup plus élaborées.

L'équipe qui travaille sur le modèle BIBINE était constituée, par la première phase, par Yves CRESPIEN (étudiant en Troisième Cycle de Géographie), Maryse GUIGO, Maryvonne LE BERRE et Patrice UVIETTA (Université Joseph Fourier Grenoble 1). Henri CHAMUSSY a rejoint l'équipe pour la deuxième phase, à la date d'aujourd'hui.

Le type de modélisation choisi se situe toujours dans la lignée forrestérienne; mais le langage de modélisation adoptée est STELLA, implanté sur micro-ordinateurs Macintosh.

L'objet scientifique choisi est le système vigne-climat-viticulteur; le coix a été en partie déterminé par la possibilité d'insérer la recherche dans la réponse : à un appel d'offre du P.I.R.E.N. (Programme Interdisciplinaire de Recherches sur l'En-

vironnement Naturel) sur l'environnement climatique régional, réponse coordonnée par Jean-Pierre MARACHAND (Université de Rennes).

Il est clair que, dans un premier temps, ce n'est pas un système spatial qui est objectivé, et, dans le modèle expérimental, l'espace est un concept totalement absent. Il est dans les intentions des concepteurs de tenter ultérieurement la modélisation du système dynamique spatial qu'est un vignoble, tout en conservant les objets conceptuels retenus dans la première étape de modélisation. En revanche, il s'agit d'un système dans lequel s'exercent à la fois de très fortes contraintes *naturelles* (climatiques et biologiques) et de très fortes contraintes sociales.

La figure 3 montre le graphe simplifié du modèle exploratoire. Le sous-système développé est celui de la physiologie de la vigne; il a été considéré comme central parce qu'il fonctionne comme sous-système réponse, lieu de médiation où se croisent les interrelations société-contraintes physiques. Les contraintes physiques sont fortes; elles sont, pour la plupart, des contraintes climatiques; dans l'état actuel de la recherche, les contraintes pédologiques n'ont pas, encore, été prises en compte; certaines de ces contraintes climatiques ont été intégrées socialement; les maladies cryptogamiques, par exemple, presque toutes liées à des conditions météorologiques précises, sont dominées par des traitements intégrés dans le coût social, de la même manière que l'est le froid hivernal pour la circulation automobile, comme on l'a vu plus haut; ce coût social s'intègre dans deux boucles, celle du prix à payer pour la conduite du vignoble, et celle d'une uniformisation temporelle de la qualité des vins. D'autres contraintes ne sont intégrées dans une boucle à commande sociale que par des artifices tels que les assurances ou les subventions; c'est le cas du gel ou de la grêle.

Les contraintes d'origine sociale à intégrer dans le système sont probablement tout aussi déterminantes; le vin est un produit social par excellence, la vigne est une culture emblématique de nombreuses régions françaises (et pas seulement françaises...); des processus socio-économiques multiples et complexes sont à élucider dans les goûts du public, la réputation et le prix des vins de qualité, les modes de consommation, etc.

Dans la construction de ce modèle, il est particulièrement difficile de s'en tenir avec rigueur à une démarche descendante. La tentation est forte de faire éclater le système en sous-systèmes et de construire les sous modèles de manière autonome: physiologie de la vigne, contraintes climatiques, contraintes sociales. Il semble crucial de ne pas céder à cette tentation, car la reconstitution du système et, du même coup, la construction du modèle deviendraient une tâche peut-être impossible. S'il fallait ne retenir qu'un seul des problèmes méthodologiques qui se posent pendant la phase de conceptualisation d'un système et la phase de construction d'un modèle, ce serait, je pense, celui-là descendre dans la profondeur du système et désagréger l'objet de la recherche tout en conservant absolument la globalité; c'est le lieu de tous les paradoxes et de toutes les contradictions... Est-ce décourageant, ou exaltant? Je vous laisse le choix.

## CONCLUSION

Je n'ai jamais su conclure. Ce n'est pas étonnant. On ne conclut pas une Recherche. Comme le disait Roger BACON, cité au début de cet exposé *La Science ne sera jamais accomplie en ce bas-monde*.

Tout au moins voudrais-je dégager deux points qui me tiennent à coeur dans l'état actuel de ma réflexion. Le premier, c'est que'il y a un immense travail à faire dans le domaine de la conceptualisation des systèmes spatiaux et de leur modélisation dynamique. C'est absolument enthousiasmant. De plus l'approche systémique permet l'accès à un véritable **méta-langage** qui facilite grandement l'**inter-compréhension** avec les Scientifiques d'autres disciplines; il ne s'agit pas du tout de souhaiter ou de pratiquer quelque synthèse molle de toutes les sciences, mais,, tout en conservant chacun son objet scientifique, de réfléchir ensemble sur des problèmes dont les approches sont moins éloignées les unes des autres qu'on pourrait le croire.

Le second point c'est que la progression scientifique doit se faire avec une extrême prudence épistémologique. Je m'excuse d'insister fermement sur cela, mais il faut bien avouer que la prudence épistémologique n'est pas souvent le fort des Géographes, dont beaucoup croient, comme le remarquait Roger BRUNET dans l'éditorial du premier numéro de *L'Espace Géographique*, que *la Géographie se prouve en marchant*. Certes, toute Science se prouve en marchant; mais il faut marcher comme un soldat sur une plage de débarquement !... sur un terrain miné. Peut-être bien des fourvoyements de la Géographie dans des impasses auraient-ils été évités, si nous avions prêté plus d'attention au bon usage des méthodes et des techniques, si nous avions sû mieux poser nos problèmes, mieux définir et objectiver nos recherches, si nous avions un peu plus écouté d'autres Scientifiques...

Ce dont je suis sûr, c'est que la communauté scientifique est en train d'opérer un retour à une tradition qui est celle de la convergence avec la réflexion philosophique. Dans le journal *Le Monde* du vendredi 15 avril 1988, il a paru quelques très remarquables pages sous le titre *Dialogue pour un temps de crise*, dans lesquelles se croisent les réflexions d'un Philosophe, d'un Biologiste, d'un Astronome, d'un Mathématicien et d'un Historien (et ce n'est peut-être pas un hasard si aucun Géographe n'avait été invité à ce dialogue...); j'en extrais les passages suivantes, dits par le Mathématicien et Philosophe Jean PETITOT:

*Derrière l'éparpillement apparent et le morcellement des recherches hyper-spécialisées, il existe un processus très puissant d'unification de la compréhension théorique. Ce double mouvement...manifeste le considérable accaroissement des capacités de transfert de modèles d'un champ à l'autre. Les possibilités d'intertraduction entre les différents domaines d'objets son de plus en plus grandes. Un peu plus loin, Jean PETITOT dit: Depuis HEGEL, la pensée -au sens que KANT lui donnait- s'est inexorablement détachée de la connaissance... C'est pourquoi on se trouve aujourd'hui confronté à un divorce profond entre, d'une part, des sciences de plus en plus puissantes dans leur com-*

*préhension et leur maîtrise de la réalité -mais qui ont du mal à se connaître elles-mêmes dans leur essence et refusent souvent leur autoréflexion philosophique-, et d'autre part, une pensée devenue sceptique, voire nihiliste et dans tous les cas antiscientifique et antihumaniste. Et il conclut: Avec les nouveaux outils physico-mathématiques dont nous disposons désormais, il devient possible de commencer à comprendre comment...[une]...organisation morphologique du monde sensible s'effectue, tant du côté du sujet que du côté des objets...Il devient enfin possible de réactualiser, en partie scientifiquement, le projet phénoménologique de HUSSERL. Il s'agit là d'une conquête décisive de l'objectivité qui permet de réapproprier d'entières traditions philosophiques. On assiste déjà, par le biais des mathématiques et des recherches en laboratoire les plus avancées, à un retour critique et exigeant sur les concepts fondamentaux des grandes métaphysiques. HEGEL, NIETZSCHE, FREUD, HEIDEGGER s'éclipsent. Mais c'est pour laisser la place à KANT, HUSSERL., CASSIERER, CARNAP, WITTGENSTEIN, MERLEAU-PONTY... (Les passages mis en gras l'ont été par mes soins).*

Il serait dommage que les Géographes restent à l'écart d'un pareil débat et d'un tel enjeu scientifique et social. Cela dépend de la capacité de réflexion de la communauté géographique. Cette réflexion a été amorcée surtout par des Géographes anglophones; je suis particulièrement heureux d'avoir pu évoquer ces problèmes avec une assemblée de Géographes espagnols; car je pense qu'il y a une approche épistémologique de style, disons: latin..., qui a sa spécificité et que nous devons développer ensemble. J'en à plusieurs reprises l'écho dans vos débats, malgré ma méconnaissance de la langue espagnole. Il ne s'agit pas du tout de concurrence avec la Géographie des pays du Nord, mais de complémentarité enrichissante.

Et maintenant, comme le disait WITTGENSTEIN, encore une fois appelé à la rescousse: *ce dont on ne peut parler, il faut le taire*. Je pourrais encore parler de diverses choses; je vais cependant suivre son conseil...

### Post-conclusion...

Outre les quelques citations égrénées dans le texte présenté ci-dessus, je joins ici quelques phrases qui n'ont pas trouvé leur place dans le fil du discours et du raisonnement, ou qui en ont volontairement été enlevées pour ne pas les alourdir, mais qui, à mon avis, peuvent inspirer les Géographes et susciter de saines réflexions.

*Physiciens et Naturalistes ont d'abord opéré comme si leur regard plongeait de haut sur un Monde que leur conscience pouvait pénétrer sans le subir, ni le modifier...Parvenus à l'extrême de leurs analyses, ils ne savent plus trop si la structure qu'ils atteignent est l'essence de la Matière qu'ils étudient ou le reflet de leur propre pensée...Objet et Sujet s'épousent et se transforment mutuellement dans l'Acte de Connaissance. Bon gré mal gré dès lors, l'Homme se retrouve et se regarde lui-même dans tout ce qu'il voit.*

Pierre TEILHARD de CHARDIN, *Le Phénomène humain*.

*Les seuls progrès scientifiques vraiment importants ne son pas des accroi-*



*ssements de connaissance, comme on le croit communément, mais l'acquisition par l'homme de nouvelles structures mentales qui lui permettent de simuler plus facilement la réalité.*

René THOM (article dans le Monde)

*Le temps est vrai et mathématique en lui-même et de sa propre nature; il coule uniformément sans relation avec rien d'extérieur, et d'un autre nom est appelé durée.*

Isaac NEWTON, Principia Mathematica

*Toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible, qui lie les plus éloignés et les plus indifférentes, je tiens pour impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties.*

Blaise PASCAL, Pensées

*Notre problème est la complexité. Elle caractérise un système dont le nombre des éléments est immensément grand ou inaccessible.*

Michet SERRES, Le Passage du Nord-Ouest

## BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie a été divisée en deux parties: une première partie répertorie quelques travaux véritablement liés à la théorie des systèmes et à l'approche systémique; dans une deuxième partie, sont signalés quelques auteurs, dont la lecture est enrichissante, voire indispensable pour qui veut entrer dans la *weltanschauung* systémique...

## 1.

(1983): *Tecniques mathématiques pour l'analyse des systèmes en Géographie*, n° spécial des Cahiers de Géographie de Rouen, 18-19, et en particulier les articles de ALLEN, P. LOI D., MERCIER J.L., RECHENMANN F., UVIETTA

Actes du Colloque GEOPOINT 84, Groupe Dupont, Faculté des Lettres d'Avignon, et en particulier les articles de CHAMUSSY H., DURAND-DASTES F., LE BERRE M., LEMOIGNE J.L., MARCHAND J.O., PUMAIN D. ET SAINT-JULIEN Th., SANDERS L.

AURIAC, F. (1983): *Système économique et espace; le vignoble languedocien*, Economica, Paris.

CHAMUSSY H., GUERIN J.P., LE BERRE M., UVIETTA P., (1984): *La dynamique des systèmes, une méthode de modélisation des unités spatiales*, L'espace Géographique, n° 2, pp. 81-93.

DURAND D., (1983): *La Systémique*, Que-Sais-Je n°1795, Presses Universitaires de France, Paris.

DURAND M.G. (1983): *Une expérience de modélisation dynamique en Géographie*, Analyse de système n° 2-3, IX, Juin-novembre, pp. 59-95.

GUERMOND Y. et al. (1983): *L'analyse de systèmes en Géographie*, Presses Universitaires de Lyon.

LEMOIGNE, (1978): *La théorie du système général*, Presses Universitaires de France, Paris.

WALLISER B., (1984): *Systèmes et modèles*, Le Seuil, Paris.

## 2.

De très nombreux auteurs..., de très nombreux ouvrages... On se contentera de citer, un peu pêle-mêle:

les Actes du Colloque de Cerisy sur l'auto-organisation,  
Michel SERRES, en particulier le Passage du Nord-Ouest,  
Gregory BATESON, en particulier Pour une écologie de l'esprit,  
Paul WATZALAWICK, en particulier La réalité de la réalité,  
Henri ATLAN, en particulier Le cristal et la fumée et A tort et à raison,  
Edgar MORIN, en particulier Le paradigme perdu et La Méthode,  
Gilles-Gaston GRANGER Pour toute son oeuvre...

et puis, bien sûr, avec la reconnaissance de tous les Géographes..., les Présocratiques, Thomas S. KUHN, sir Karl POPPER, Ludwig WITTGENSTEIN, et aussi ARISTOTE, René DESCARTES, David HUME, Titus Carus LUCRECE, Blaise PASCAL, Roger BACON, Francis BACON, Emmanuel KANT, Isaac NEWTON, etc. etc..

J'allais oublier...

l'auteur anonyme du Livre de la Sagesse qui a écrit: *Tu as tout réglé avec le Nombre, le Poids et la Mesure, Seigneur Yahweh* .(XI,21)

et William SHAKESPEARE parce qu'il a osé dire:  
*There are more things in heaven and earth, Horatio,  
Than are dreamt of in your philosophy.*  
(Hamlet, I,5)

et Miguel de CERVANTES, parce que nous sommes tous des Don Quijote de la Science, en train de combattre des armées de moulins à vent. Heureusement, il y a des Dulcinées....

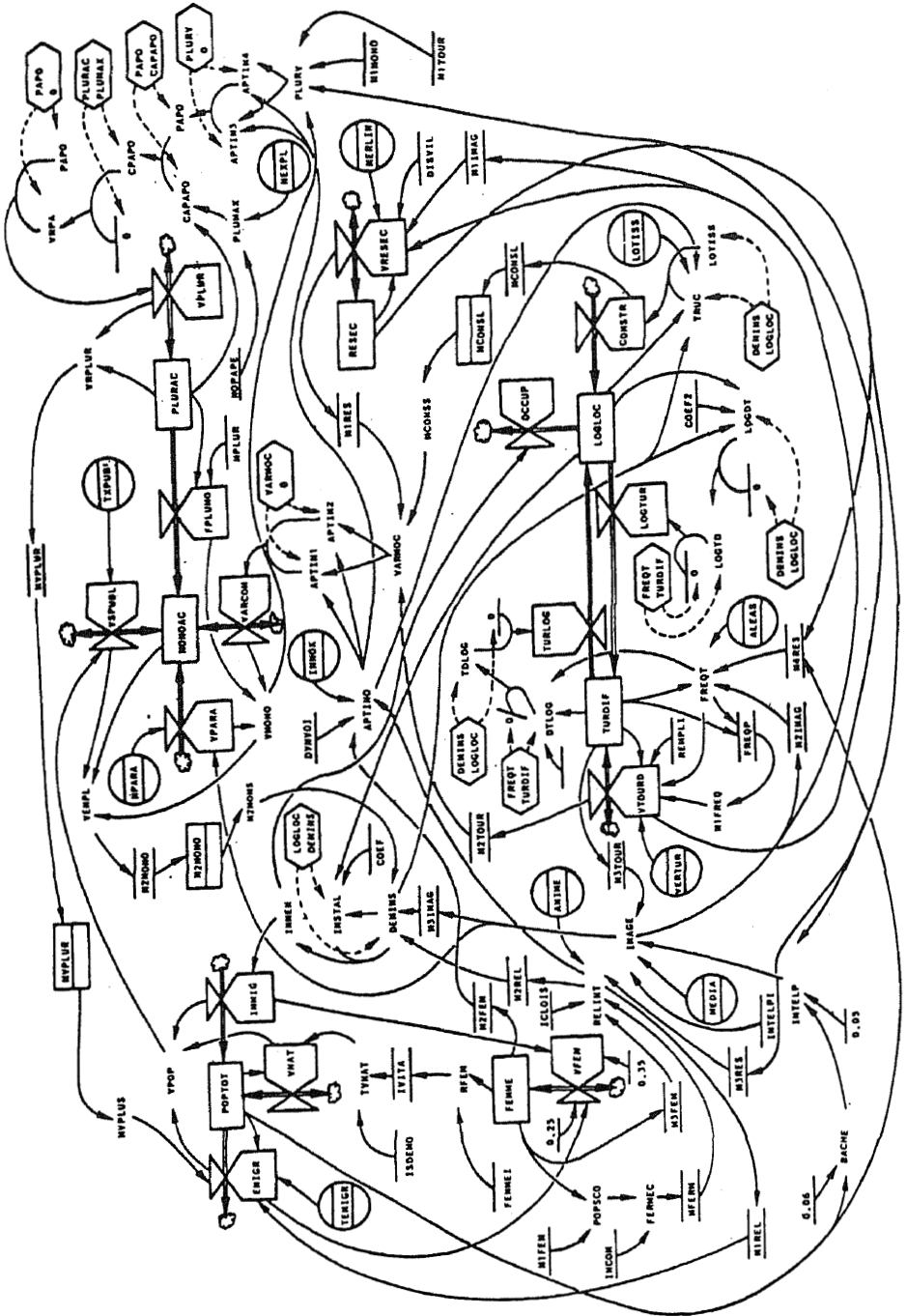


Fig.1 - Graphe de l'ensemble des relations du modèle AMORAL.

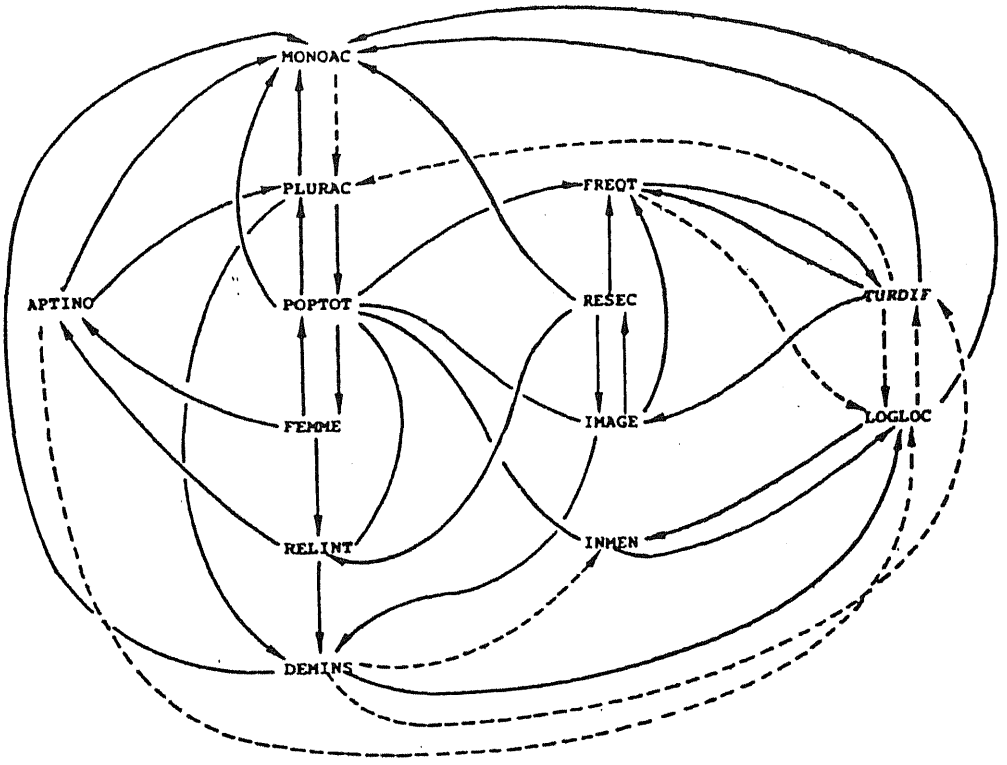
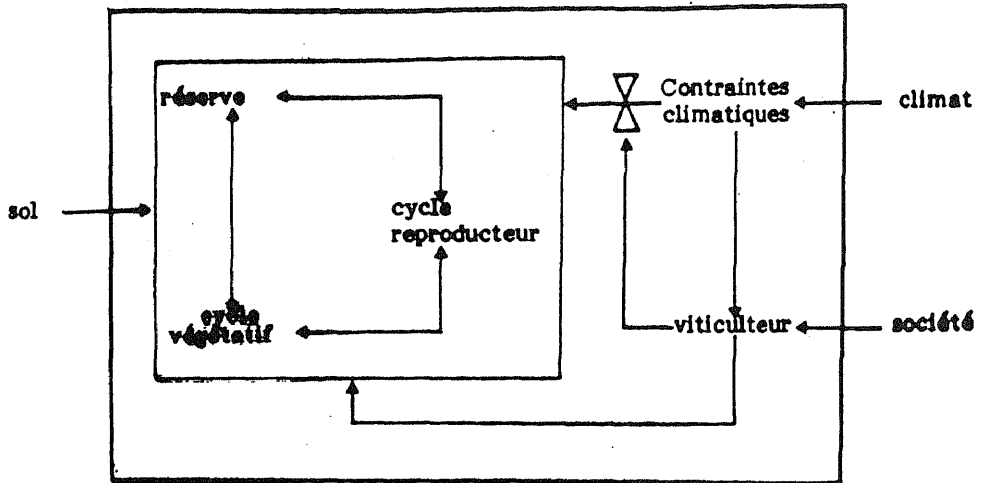


Fig.2- Graphe simplifié des relations majeures du modèle AMORAL.



- Système étudié : complexe contraintes climatiques-vigne-viticulture**
- Sous-système : physiologie de la vigne**

Fig.3 - Le système climat-vigne-viticulteur