

Le territoire, un système complexe fondements théoriques et approches méthodologiques

Notre objet d'étude, le territoire transfrontalier, est appréhendé en tant que système. Les systèmes sont, comme les modèles, des constructions intellectuelles. Ils ne *sont pas dans la nature mais dans l'esprit de l'Homme*. L'approche systémique, connue depuis les années 1970, a été conçue pour penser et agir dans la complexité. Elle s'est construite en effet autour de quatre concepts de base en inter-relation : la globalité, la complexité, le système et l'interaction. Complexité et système sont donc consubstantiels. Ainsi les « sciences des systèmes » ont-elles préfiguré ce qu'on désigne aujourd'hui sous le nom de « complexité » (Lévy et Lussault, 2003).

1.1. Territoire, Anthroposystème et Système Spatial

Nombreuses sont les définitions d'un système ; la définition proposée par Jean Louis Le Moigne, « un système c'est un projet, une action dans un environnement » est de celles qui caractérisent le mieux les anthroposystèmes dont font partie les systèmes territoriaux.

Le concept d'anthroposystème comme l'indique Lévêque *et al* en 2003 dans leurs travaux, est relativement récent dans le champ scientifique. Il s'est largement inspiré de notions telles que l'*écosystème* (Tansley, 1935), le *géosystème* (Bertrand et Beroutchachvili, 1978) ou encore de *socio-système* (Lapierre, 1992). Trois notions qui ont en commun la démarche systémique comme moyen de mise en évidence d'actions, interactions et boucles de rétroaction entre des éléments visibles et/ou invisibles d'un système donné. L'anthroposystème se définit comme un *système interactif entre deux ensembles constitués par un (ou des) socio-système(s) et un (ou des) écosystème(s) naturel(s) et/ou artificialisé(s) s'inscrivant dans un espace géographique donné et évoluant dans le temps. Ces écosystèmes sont occupés, aménagés, et utilisés par des sociétés, ou bien s'ils ne le sont pas, leur existence est nécessaire à leur vie et à leur développement social. Les sociétés qui vivent et/ou utilisent cet espace sont constituées de groupes sociaux ayant des intérêts et des jeux propres* (Lévêque *et al.*, 2003). Cette définition insiste sur l'aspect dynamique et évolutif (passé, présent et futur) du système en introduisant la notion de temps, mettant ainsi en perspective la démarche de prospective. Et, comme l'indiquent Lévêque et van der Leeuw en 2003 dans leurs travaux portant sur la « prospective », *la connaissance du passé des anthroposystèmes aide à comprendre leurs trajectoires temporelles et ainsi, peut « aider » à la mise en place des « scénarios du futur »*.

De la même manière que l'aspect temporel et donc dynamique, le concept d'anthroposystème *insiste aussi sur l'aspect co-évolutif des systèmes naturels et sociaux associés sur un territoire soumis, tout à la fois, à des transformations d'origine interne (de niveau ou des niveaux d'organisation inférieurs) ou externe (des niveaux d'organisation*

contigus ou supérieurs. De même, le concept d'anthroposystème exige de s'inscrire dans une dynamique temporelle parce que *les anthroposystèmes ont un passé qui marque fortement la situation actuelle ; ils ont un futur qui dépend de l'histoire et des prises de décisions actuelles*. En d'autres termes, les anthroposystèmes ont de la mémoire et tenir compte de cette caractéristique est indispensable pour la démarche prospective qui a pour mission *d'éclairer le présent et de mieux cerner les enjeux des prises de décision pour le futur* (Levêque et al., 2003)²⁸). Ainsi, le concept d'« anthroposystème » a une épaisseur puisqu'il est *contenu* et *contenant* d'éléments évolutifs qui, par l'action de l'homme se transforment continuellement dans le temps et dans l'espace.

Le concept de « système » (Auriac, 1979 ; Durand-Dastes, 1984), dans sa globalité est par essence dynamique parce que susceptible de se transformer et de subir des bifurcations. Ce dynamisme trace les différentes trajectoires évolutives du système, ce qui par ailleurs attribue au système une dimension complexe. Complexe aussi, parce que dans le système, agissent et rétroagissent plusieurs éléments motivés par des processus endogènes et/ou exogènes qui influencent son évolution. Dès lors, appréhender les éléments qui composent les systèmes ainsi que les processus qui motivent leurs changements est tâche complexe mais indispensable pour préciser la trajectoire passée, la trajectoire observée présentement et la trajectoire qui pourrait et devrait s'effectuer dans le futur. De ce fait, pour saisir la complexité d'un anthroposystème donné, le géographe doit d'abord apprendre à identifier le pourquoi de la complexité afin d'être apte à la détecter spatialement et de manière temporelle. Le pourquoi de la complexité doit aussi impérativement être trouvé dans l'importance des phénomènes d'inertie sur lesquels repose l'essentiel de la compréhension des éléments majeurs qui vont déterminer les trajectoires structurelles et organisationnelles. L'inertie est riche à considérer dans l'analyse des systèmes complexes en ce qu'elle évoque aussi « les héritages » légués aux systèmes et qui caractérisent à la fois les structures fonctionnelles qui vont de pair avec les structures spatiales. Par la modélisation et la simulation spatiale, les phénomènes d'inertie peuvent être mis en évidence. La prise en compte des phénomènes d'inertie dans le cadre de la modélisation nous semble particulièrement fondamentale dans la mesure où elle peut nous permettre de déterminer de quelle manière la structure spatiale influence la dynamique et le développement territorial.

Le territoire est un type d'anthroposystème dans lequel entrent en interaction trois composantes majeures : les acteurs, l'espace géographique aménagé par les acteurs et le géosystème qui, par ses contraintes et ses aménités, exerce une influence sur les projets et les décisions des acteurs. Si le "système territoire" est appréhendé par la plupart des chercheurs comme un système complexe évolutif selon la problématique, selon l'angle d'étude retenu par le chercheur, l'attention se focalisera sur certaines interactions plus que sur d'autres. L'analyse du système territorial peut ainsi privilégier les interactions des acteurs et de

²⁸ Contribution de Levêque et van der Leeuw dans « Prospective SIC 2002 ; Synthèse de l'atelier n°5 ; 6 pages

l'espace, cibler les recherches sur *les jeux spatialisés des acteurs pour comprendre les processus qui guident l'évolution de l'espace géographique* (Moine, 2006). Une autre entrée consiste à privilégier l'analyse de la complexité spatiale et donc des interactions entre niveaux spatiaux. Le territoire est alors perçu avant tout comme un système spatial caractérisé par *une dynamique complexe faite de niveaux d'imbrication de nombreux processus dont l'action se manifeste à des instants différents et selon un jeu d'échelles spatiales multiples, combiné à un jeu d'échelles temporelles tout aussi diversifiées* (Le Berre, 1984).

Les systèmes territoriaux sont des systèmes emboîtés. Les deux axiomes que propose le philosophe Bunge et relatifs aux échelles spatiales (Bunge, 1986) : *Tout système, à l'exception de l'univers, est un sous-système d'un autre système*'' , *''Chaque chose concrète est soit un système, soit une composante d'un système''* permettent de postuler qu'un élément, en l'occurrence une infrastructure de transport, se distingue par sa pluriappartenance spatiale, économique et administrative. Par ailleurs, ses spécificités pouvant varier selon une configuration donnée – à savoir le niveau spatial et l'angle d'approche observés –, un élément ne deviendra pas systématiquement un paramètre structurant. C'est la raison pour laquelle les systèmes spatiaux sont distribués hiérarchiquement. La théorie de la hiérarchie (Allen, 1982) apparaît donc ici comme un cadre conceptuel adapté pour définir la représentation d'un système complexe. Selon cette théorie, le comportement d'un système organisé hiérarchiquement, voire imbriqué, est contingenté par les interactions des systèmes le composant au niveau inférieur et soumis aux contraintes exercées par les systèmes du niveau supérieur (Marceau, 2008). Le caractère complexe d'un système territorial appelle à développer une démarche plurithématique, c'est-à-dire en prenant en compte non pas sa diversité mais chacun de ses aspects en vue d'une meilleure compréhension (Voiron-Canicio, 1993).

La cohésion spatiale d'un système territorial est subordonnée à sa globalité de fonctionnement. Or, le facteur humain joue un rôle prépondérant, par le biais de l'aménagement du territoire par exemple, dans le caractère à la fois hétérogène d'un espace, et homogène dans les sous-espaces qui le composent. On observe généralement que les notions pourtant nuancées, d'hétérogénéité et de différenciation sont invoquées indistinctement. Il convient de dissocier chaque acception et de les situer dans leur contexte respectif. Ainsi, la notion d'hétérogénéité fait référence au caractère propre à une configuration spatiale et résultant de ses transformations, tandis que la notion de différenciation relève d'une démarche évolutive. Maryvonne Le Berre lors du Géopoint de 1984 portant sur la thématique *Systèmes et localisations*, ne manque pas de rappeler les définitions des termes « hétérogénéité » et « différenciation », comme suit :

- *hétérogénéité* : « caractère de ce qui est hétérogène, c'est-à-dire constitué d'éléments de nature différentes »,

- *différenciation* : « action, pour des éléments semblables de devenir différents ou, pour des éléments dissemblables, d'accentuer leurs différences. »

Il s'avère que la modélisation systémique visant à analyser les différenciations spatiales d'un système complexe, est une démarche qui semble parfaitement répondre aux attentes des géographes ces dernières décennies, dans la mesure où ceux-ci disposent d'outils qui soient à la hauteur des exigences propres au traitement des données.

Les spécificités d'un système spatial en font un système de nature complexe accentuée par l'artificialisation de l'espace géographique liée à l'activité humaine, où la main de l'homme façonne et modifie, partiellement voire totalement, le territoire. Or, il convient de rappeler que les projets de réaménagement sont soumis à une force d'inertie provenant de l'espace aménagé antérieurement : « L'évolution de l'espace est en quelque sorte conditionnée en partie par son propre passé » (Le Berre, 1984, page 86). Cela s'explique par le fait que les systèmes spatiaux, ayant déjà subi des transformations, sont dotés d'une certaine rigidité qui n'autorise que très peu la réalisation d'autres projets.

Nous avons pu observer que les différents éléments qui composent un système spatial se caractérisent par la multiplicité et la divergence des interactions et rétroactions de ses éléments (cf. figure 1.1), de là la difficulté à quantifier la résultante d'une action anthropique sur les transformations spatiales. Les effets que peuvent engendrer un projet de société – infrastructure de transport, pôle d'activités pour redynamiser une région, etc. – sur le territoire, sont d'autant plus difficiles à mettre en lumière, qu'il subsiste des phénomènes d'inertie, de délais et de seuils de retournement de situation (Voiron-Canicio, 1993).

Cette réflexion tend à conforter l'idée qu'il convient de considérer les dimensions de la complexité pour arriver à appréhender le fonctionnement des systèmes spatiaux soumis à d'incessants remaniements.

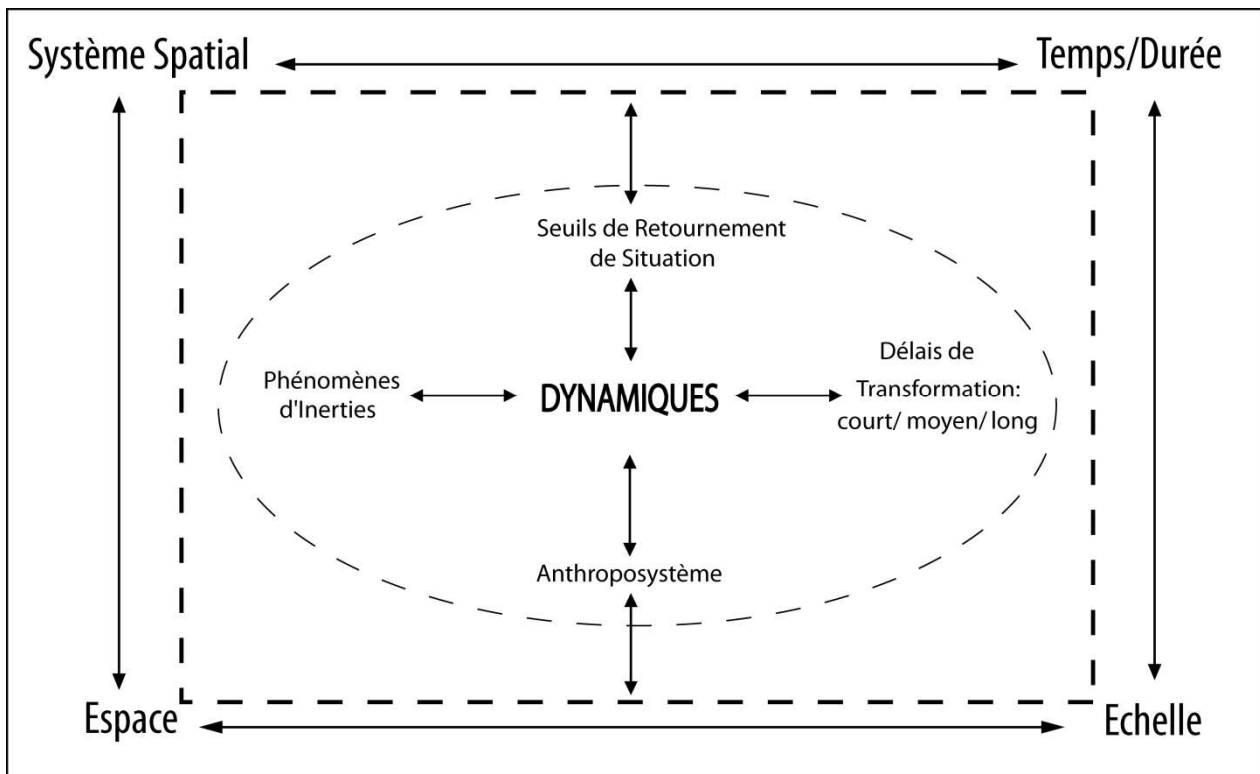


Figure 1.1: Interactions et Rétroactions entre Eléments d'un Système Spatial

1.2. Les dimensions de la complexité

Le concept de la complexité mobilise les scientifiques de tous bords (Géographie, Physique, Biologie, Chimie...) depuis plus d'une vingtaine d'années. Les prémices sont à resituer au milieu du vingtième siècle avec la théorie mathématique de la communication de Shannon et de Weaver (1949) « The mathematical theory of communication » parue dans la revue universitaire de l'Illinois aux USA et a permis aux scientifiques de pouvoir évaluer le niveau de complexité d'un système (Williams, 1997).

Dans sa démarche qui le fait aller *A la rencontre du complexe*, le géographe se confronte à un exercice délicat en essayant de faire la lumière sur le concept de complexité car, celui-ci, tout en possédant les attributs d'objets qui lui sont familiers comme le système, l'espace et/ou le temps, est une science en soi et donc avec des fondamentaux difficilement maîtrisables pour les scientifiques provenant d'autres disciplines et pouvant être tentés d'explorer des horizons scientifiques passionnants mais dont ils n'ont pas l'entière maîtrise. C'est pour cette raison que nous avons jugé utile, afin d'apporter une analyse fidèle au concept de la complexité, de faire appel aux auteurs qui ont largement participé à sa diffusion et à sa connaissance à l'image de Shannon et de Weaver en 1949.

Dans les années 1990, une définition semble faire l'unanimité au sein de la communauté scientifique pour le concept de complexité. Des scientifiques tels que Waldrop (1992) définissent la complexité de la manière suivante : *Complexity*. « A type of dynamical behaviour that never reaches equilibrium and in which many independent particle-like units or “agents” perpetually interact and seek mutual accommodation in any of many possible ways. The units or agents spontaneously organizing and reorganizing themselves in the process into ever larger and more involved structures over time » (Waldrop, 1992) cités par (Williams, 1997; p. 234, p. 449).

Au regard de cette définition, nous comprenons pourquoi dans l'étude des systèmes, le concept de complexité appelle à préciser le comportement dynamique et spatio-temporel des différents éléments qui structurent et qui fondent un système à partir de mouvements d'inter-rétroactions et d'interrelations multiples. Le comportement dynamique de ces éléments dans les phases d'évolution organise le système tout en s'auto-organisant. C'est ainsi qu'ils font émerger au sein du système lui-même d'autres nouvelles structures. Une structure peut être comprise selon l'acception faite par Williams comme étant spatiale, temporelle ou fonctionnelle (Williams, 1997). Dans son ouvrage, *Chaos Theory Tamed* (1997) Williams suggère l'existence de « six ingrédients » à considérer pour l'identification de la complexité dans les systèmes étudiés (Williams, 1997, p. 234) :

- (1) « A large number of somewhat similar but independent items, particles, members, components or agents.
- (2) *Dynamism: the particles persistent movement and readjustment. Each agent continually acts on and responds to its fellow agents in perpetually novel ways.*
- (3) *Adaptiveness: the system conforms or adjusts to new situation so as to insure survival or to bring about some advantageous realignment.*
- (4) *Self-organization, whereby some order inevitably and spontaneously forms.*
- (5) *Local rules that govern each cell or agent.*
- (6) *Hierarchical progression in the evolution of rules and structures. As evolution goes on, the rules become more efficient and sophisticated, and the structure becomes more complex and larger. For instance, atoms from molecules, molecules from cells, cells from people, and thence to families, cities, nations, and so forth ».*

Ces ingrédients et/ou caractéristiques qui permettent d'identifier le niveau de complexité d'un système appellent à définir et à prendre en considération d'autres concepts comme celui de *dynamique* ou des théories, comme celui du *chaos*, de *bifurcation* ou encore des approches comme la *non-linéarité* et l'*auto-organisation* (...) qui émergent dès l'instant que l'on évoque et/ou traite un phénomène complexe. Ces concepts, théories et approches sont ainsi intrinsèquement liés au développement de la théorie de la complexité comme l'indique Batty (2005) : « Complexity theory has developed during the last twenty years

through excursions into dynamic. It began with catastrophe and bifurcation theory, building nonlinear approaches to biological systems, paralleled by work in deterministic dynamics leading to chaos theory. This has culminated in ideas about transition, order, and the edge of chaos, best seen in ideas about self organisation critically » (Batty, 2005, p. 13).

Les « six ingrédients » suggérés par Williams continuent encore aujourd'hui à alimenter des recherches relatives aux systèmes complexes comme le démontrent les travaux de nombreux scientifiques aujourd'hui. Comment, dans le contexte des nombreuses investigations scientifiques relatives à la complexité, la géographie conçoit-elle ce paradigme ? Quelles sont les approches que le géographe doit adopter pour mieux saisir la complexité ? Dans l'objectif de préciser et d'apporter un éclairage au concept de la complexité, différentes dimensions sont à distinguer en géographie. Il s'agit de la dimension spatiale, de la dimension temporelle et de la dimension anthropique de la complexité.

1.2.1. La dimension spatiale de la complexité : ou la nécessité d'une démarche multi-scalaire

L'échelle est cet outil d'analyse pluridisciplinaire utilisé pour la précision du caractère spatial et temporel de l'évolution d'un système complexe. Pluridisciplinaire car, l'échelle est également appréhendée dans d'autres disciplines comme la physique mais aussi les mathématiques comme le démontrent des recherches portant sur la géométrie fractale ou « Nouvelle Géométrie de la Nature » (Mandelbrot, 1982), introduit en géographie dans les années 1990 (Frankhauser, 1994).

Tout en évoquant le concept de la complexité dans leurs recherches, des scientifiques ont également apporté des précisions à la notion d'échelle parce que celle-ci implique autant la dimension spatiale que la dimension temporelle. Dans le cadre de la simulation et de la modélisation de l'évolution des systèmes, Michael Batty, de loin un de ceux qui ont le plus insisté sur la notion d'échelle (Batty, 2005 ; pp. 21, 34, 36, 57, 104, 108 et 146), souligne l'importance de la prise en compte de l'imbrication des échelles spatiales en s'appuyant sur l'exemple de la ville de Londres : « (...) the London example shows that very dramatic local change seems to have little effect at ever higher spatial scales, although there may be impacts through time and of course influences at higher scales than the metropolis itself (in other world cities, for example). Thus, the *local-global* continuum will play an important role in models (...) » (Batty, 2005, p. 21). Cet exemple montre que les effets des changements observés ou simulés varient selon l'échelle considérée. Ainsi, en plus de l'intérêt qu'il y a à observer une démarche scalaire pour comprendre le fonctionnement évolutif des systèmes dans le cadre de la modélisation et simulation, cet exemple indique également l'importance de prendre en compte le rapport *local-global* afin de mieux nuancer, interpréter et valider les résultats obtenus lors de l'étape de la simulation. Aussi, dans sa démarche visant à démontrer l'importance de l'échelle dans l'étude des systèmes complexes, Michael Batty apporte encore

plus de précision à la notion d'échelle en proposant la définition que voici : *Scale*. « The level of resolution at which we observe the city, which is essentially map scale, and the level of functional differentiation that takes place in different sizes of location or city ». (Batty, 2005 ; p. 34). Nous pouvons observer ici la volonté de l'auteur d'insister sur la différenciation existante entre, d'un côté l'échelle relative à *l'espace*, et d'un autre côté, l'échelle relative à la *taille*. L'échelle relative à *l'espace* amène à fixer un ratio/rapport/fraction/bornes/frontière et demande, parce que *infinie*, à réduire et/ou augmenter des proportions (Williams, 1997). Cette échelle/espace peut être comprise comme la délimitation cartographique d'une aire ou d'un objet à qui l'on attribue des zonages. En revanche, l'échelle relative à la *taille* est considérée comme *finie* et ferait plutôt référence à la hauteur, à la longueur, ou à la largeur d'une forme géométrique des objets qui se trouvent, caractérisent et structurent un espace délimité, en l'occurrence la morphologie des bâtiments d'une cité. Ces différentes précisions que Michael Batty (2005) apporte à la notion d'échelle, sont à replacer dans un contexte de simulation d'un phénomène étudié car, elles indiquent que *l'échelle/taille* (souvent représentée par un pixel dans beaucoup de modèle) est aussi importante que *l'échelle/espace* (l'aire d'étude géographique dans sa globalité) dans l'évaluation de l'évolution des territoires (Batty, 2005 ; Williams, 1997).

Parmi les nombreuses définitions à donner au concept d'échelle en géographie nous pouvons mentionner celle Racine et de Reymond en 1973 cité par (Volvey, 2005 ; p. 18) qui définit l'échelle comme *médiatrice des configurations observées, médiatrice d'une pertinence, médiatrice d'une intention, médiatrice d'une action, médiatrice en définitive des valeurs, du pouvoir et des préoccupations humaines*. Aussi, en Géographie, l'échelle est au cœur de la compréhension de l'évolution des systèmes étudiés. Le géographe est souvent amené à changer d'échelle d'analyse afin de mieux observer les processus qui motivent les changements. Cette migration effectuée d'une échelle à une autre, désignée sous le nom de *démarche scalaire*, est nécessaire pour comprendre le fonctionnement souvent complexe des éléments qui composent le système. En effet, tout se passe comme si selon l'échelle d'analyse d'après laquelle on observe un phénomène, le comportement de ce dernier était modifié sur une autre échelle d'analyse. Et, dans son mouvement, le phénomène entraîne inéluctablement avec lui des enjeux différents. Pour illustrer ces propos, considérons l'exemple du projet de ligne à grande vitesse LGV-PACA. Ainsi, à l'échelle locale l'enjeu du projet est d'impulser un développement des territoires alors qu'à l'échelle régionale, l'enjeu est perçu différemment, l'infrastructure doit être une alternative au problème de saturation des routes et autoroutes, et pallier la lourde insuffisance en équipement ferroviaire de la partie est de la région PACA. D'où la nécessité de prendre en compte l'emboîtement des échelles pour mieux saisir les enjeux de la future infrastructure (CNDP, 2005).

De même, la pertinence de la démarche scalaire se justifie dans le fait que les facteurs qui sont à l'origine des transformations d'un phénomène à une certaine échelle peuvent déterminer, influencer, voire même faire émerger celles qui vont avoir lieu ou sont susceptibles de se produire à une autre échelle. C'est le cas de l'infrastructure grande vitesse

ferroviaire qui, en améliorant l'accessibilité d'un territoire aux échelles régionale, nationale et européenne, c'est-à-dire au niveau global, augmente dans le même temps l'attractivité à l'échelle locale (communes, villes et/ou quartiers) et modifie l'image initiale de la ville. C'est ainsi que des villes de passage, voient leur statut évoluer en « ville TGV, dynamique et moderne » où l'on s'arrête désormais pour visiter, habiter ou entreprendre. Toute chose égale par ailleurs, et dans l'hypothèse que le réseau de transport en question (TGV) fasse office de catalyseur, il serait justifié de penser que ce nouveau statut de ville moderne provoquée par la grande vitesse puisse avoir des incidences majeures et/ou mineures sur la vie socio-économique locale de la ville desservie par le TGV. Cet exemple conforte l'hypothèse selon laquelle le développement local est fondamentalement lié aux processus qui interviennent à l'échelle globale, et que seules une approche scalaire et une confrontation entre changements globaux et changements locaux permettent de saisir les enjeux inhérents aux phénomènes qui structurent l'espace géographique.

Ainsi, le géographe doit en permanence appréhender l'ensemble des échelles pertinentes pour arriver à expliquer son objet d'étude. Quand à l'échelle, elle lui sert souvent d'instrument de mesure. Au final, nous pouvons noter que les processus qui motivent les changements sont complexes et leur prise en compte nécessite souvent de changer d'échelle d'analyse pour mieux situer où les changements détectés pourraient éventuellement se diffuser, se concentrer, marquer leurs différenciations et constituer ainsi une continuité et/ou rupture/barrière dans l'espace et dans le temps. Toutefois, même si la nécessité de confronter les différentes échelles d'analyses pour appréhender la complexité des phénomènes étudiés semble être fondamentale, il faut garder à l'esprit qu'il est toujours délicat, voire impossible, d'appréhender les conflits que révèle l'emboîtement des échelles, c'est-à-dire la succession d'objets géographiques contenus dans l'une et/ou l'autre des échelles et que, c'est essentiellement pour ces raisons que la plupart des modèles s'appuient sur une seule échelle d'analyse et généralement sur celle où les données sont exhaustives et renseignent le plus sur le fonctionnement du système étudié (Gibson, *et al.*, 2000).

Au-delà de la démarche scalaire permettant d'appréhender la complexité, trois éléments que l'on retrouve généralement dans les recherches relatives à l'analyse spatiale permettent de représenter spatialement la complexité des systèmes complexes. Il s'agit (1) de *la résolution* : formalisée par des pixels, des lignes et/ou des polygones et faisant référence à la précision des éléments/objets qui se situent dans l'espace. De cette précision dépend largement les résultats escomptés dans les phases de simulation. Aujourd'hui, la télédétection enrichie de satellites de plus en plus performants (SPOT, LANDSAT...) permet la connaissance précise de l'évolution de ces objets/éléments ; (2) *L'étendue/surface*, c'est-à-dire l'aire d'étude délimitée (attributs spatiaux) ; (3) *Le caractère spatialement explicite du modèle* : il faut comprendre ici la capacité du modèle à retranscrire l'objet étudié à partir de deux ou trois dimensions spatiales : latitude, longitude et altitude. De même que l'échelle spatiale, la complexité doit aussi être appréhendée dans sa dimension temporelle car les

phénomènes, qu'ils soient spatiaux ou purement sociaux, possèdent aussi une temporalité qui appelle à être précisée constamment par le scientifique (Lambin et Strahler, 1994 ; Lambin, 1996).

1.2.2. La dimension temporelle de la complexité

Les premiers mots qui viennent à l'esprit quand on évoque le « temps » et/ou la « temporalité », sont le *Passé*, le *Présent* et le *Futur*. Au-delà d'un débat idéologique, épistémologique et passionnant qui tourne autour de cette notion chez les historiens, les philosophes, les physiciens et les géographes, quelle définition apporter au temps ? À cette question, le scientifique d'aujourd'hui, a largement dépassé la réponse de Saint-Augustin (354-430 après Jésus-Christ) qui, dans le livre XI de ses confessions, répond à la question « qu'est-ce que le temps ? » de la manière suivante : *Si personne ne me le demande, je le sais, mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, je ne le sais plus*. Pour la nouvelle génération de penseurs, penser *a priori* le temps, c'est voir en celui-ci *un être, une réalité en soi indépendante des objets qui sont en lui, et non un caractère de ces objets, puisqu'il peut agir sur eux, qu'il peut les détruire, les outrager et les flétrir, leur porter atteinte, leur apporter des changements ou, au contraire, les épargner* (Kaplan, 2004).

Mais, déjà en 1943, dans sa démarche de comprendre et de saisir « temps » et « temporalité », le philosophe Jean-Paul Sartre proposait la réflexion suivante : « Le passé n'est plus, l'avenir n'est pas encore, quant au présent instantané, [...] il n'est pas du tout. [...]. Ainsi, toute la série s'anéantit et doublement, puisque le « maintenant » futur, par exemple, est un néant en tant que futur et se réalisera en néant lorsqu'il passera à l'état de « maintenant » présent. La seule méthode possible pour étudier la temporalité c'est de l'aborder comme une totalité qui domine ses structures secondaires et qui leur confère leur signification » (Jean Paul Sartre, cité par Volvey *et al* 2005 p. 30). C'est la dernière affirmation de Sartre qui attire notre attention car elle montre que le temps doit être considéré de la façon la plus entière qui soit. Son importance aujourd'hui pour la géographie se mesure au même titre que l'espace dans les processus de modélisation et de simulation où les notions de *laps de temps*, *pas de temps* et de *durée* confèrent à un modèle son caractère dynamique et amènent à simuler un phénomène afin d'obtenir des résultats dans un *temps court* (heures, jours, mois, années) ou dans un *temps long* (décennies, siècles, millénaire) et même dans un *temps moyen* (qui se situerait entre le court et le long). Puisque, de même que l'échelle, la temporalité est au cœur de la modélisation/simulation qu'elle soit prospective ou prédictive. Par conséquent, la temporalité conduit à introduire dans les processus de compréhension du fonctionnement d'un système complexe, le concept de *diachronie* et de *dynamique* (Voiron-Canicio, 1993).

Dans sa volonté de préciser l'évolution des systèmes à travers la modélisation et la simulation, le géographe envisage **le temps** dans son *commencement*, dans sa *durée*, dans son *développement* et dans son *achèvement* car, ayant compris que, l'espace possédant ses

dimensions, de même le temps avait une *épaisseur* qui attire depuis longtemps et encore aujourd'hui, la curiosité de scientifiques de tous bords (Hägerstrand, 1976 ; Thrift, 1977 ; Thrift et Glennie, 2001 ; Gren, 2009 ; Kurtz, 2009 etc.). Mais, il est important de souligner qu'en plus des historiens, des philosophes et des géographes la notion de temps se révèle également très importante pour d'autres scientifiques provenant de disciplines variées comme l'indiquent des travaux portant sur la théorie du Chaos du mathématicien/géologue Paul Garnett Williams (1997) ou encore de l'urbaniste/aménageur Michael Batty (2005) qui cherchent à comprendre la complexité des systèmes urbains à partir des automates cellulaires, des systèmes multiagents ou encore des fractales. Tous deux évoquent largement la notion de temps et de temporalité dans les phases de simulation et de modélisation, en montrant comment à travers le temps les objets situés dans l'espace pouvaient selon leur comportement évolutif, changer plus ou moins radicalement, se transformer, subir une mutation surprenante, inattendue et même chaotique. Ainsi, pour Williams par exemple, changement et temps sont des notions qui fondent la théorie du chaos, comme l'illustrent ses propos : « The chaos that is study is a particular class of *how something changes over time*. In fact, *change and time* are the two fundamental subjects that together make up the foundation of chaos » (Williams, 1997, p. 3). Et, pour saisir aisément la pertinence de la variable temps/temporalité dans le comportement en évolution des objets/phénomènes étudiés, Williams (1997) dans la figure 1.2 donne deux exemples : le premier est relatif au poids en évolution d'un nourrisson et le second aux changements du prix du blé. Ce graphique simple mais explicite, indique comment un phénomène peut changer dans le temps (cf. figure 1.2). Si le poids du nourrisson suit une croissance assez régulière donc constante, les prix du blé, en revanche, connaissent eux une situation catastrophique avec des périodes d'inflation et de déflation alternées et brusques donc hautement imprévisibles. Dans une même démarche visant à appréhender le temps, nous pouvons également citer l'exemple de l'évolution de la ville de Buffalo aux USA. Dans ce cas précis, Michael Batty procède à une simulation (cf. figure 1.3 et figure 1.4) de l'évolution chronologique de la croissance urbaine entre la période allant de 1820 à 1920. Cette période est suivie du phénomène de suburbanisation, c'est la période allant de 1920 jusqu'en 1990 (cf. figure 1.3 et 1.4 (b) et 1.4 (c)) et (cf. figure 1.4 (e) et 1.4 (f)). Comme nous pouvons le noter, la croissance urbaine de 1820 à 1860 correspond au développement de l'agriculture intensive (cf. figure (1.4 (b)). Entre 1860 et 1890 une nouvelle activité émerge. C'est l'industrie (cf. figure 1.4 (c)). La présence d'un port et certainement le statut de Buffalo de ville frontalière avec le Canada ont manifestement favorisé l'émergence d'une activité industrielle et portuaire. Dans l'exemple de Buffalo, le secteur industriel semble être la base du développement économique de la région. Mais, une période de désindustrialisation survint au début des années 1960 ce qui explique le déclin du phénomène urbain et le renforcement du phénomène de suburbanisation (cf. figure 1.4 (f)). À partir de cet exemple, nous pouvons faire remarquer la volonté de l'auteur à démontrer l'importance de la variable temporelle dans les étapes de simulation, ce qu'il appelle *the space-time series* (Batty, 2005 ; p. 443). Il en ressort que l'évolution chronologique simulée de la région de Buffalo offre une image des

différentes trajectoires empruntées par ce territoire pour marquer sa spécificité et se forger le statut de *Metropolitan Buffalo* que nous lui connaissons aujourd'hui (Goldman, 1983 ; Batty and Howes, 1996 ; Batty and Howes, 2001 ; Batty, 2005).

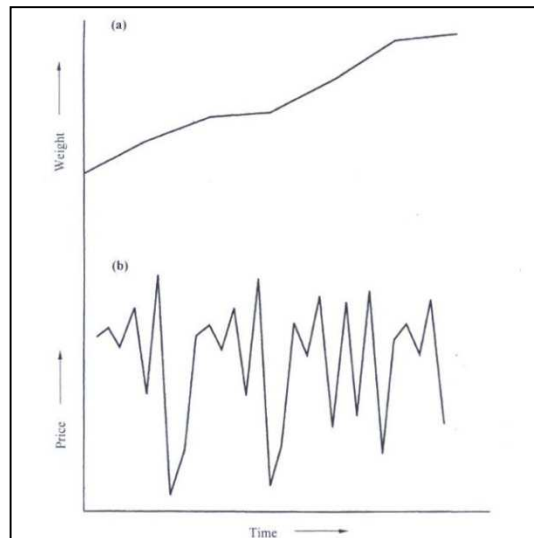


Figure 1.2. : Hypothetical time series : (a) change of baby's weight
(b) change in price of wheat over time

Source : Williams, 1997, p. 4

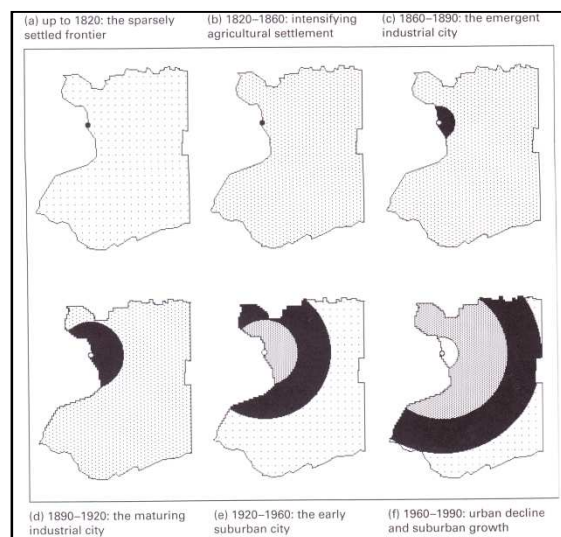
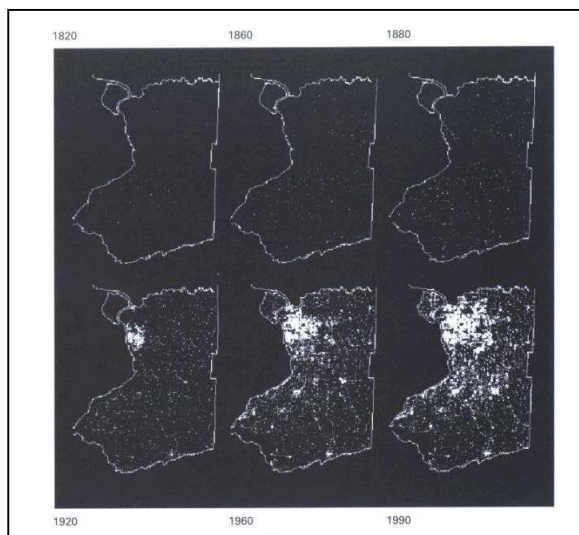


Figure 1.3. : The growth of buffalo from 1750 to 1990 Figure 1.4. : The abstracted patterns of urban growth

Source : Batty, 2005 ; p. 442

Cependant, il faut souligner que s'il est aisé de représenter l'espace à travers la cartographie thématique, et aujourd'hui, à partir de techniques plus sophistiquées comme les Systèmes d'Information géographique (SIG), en revanche, il a été pendant longtemps

beaucoup plus difficile de représenter le temps de façon explicite dans son « écoulement ». Nous entendons par là dans son commencement, dans sa durée, dans son développement et dans son achèvement, pour les trois raisons suivantes : . (1) parce que les « recherches sont restées, pendant longtemps, prioritairement orientées sur les dimensions thématiques et spatiales avec un temps implicite (2) parce que le temps associé à l'espace, depuis seulement le XXème siècle, sont considérés dès lors comme deux réalités indissociables (3) parce qu'il n'a pas toujours été aisé pour les scientifiques du XXème siècle, excepté pour les données climatologiques ou encore démographiques, d'acquérir des informations intégrant la dimension temporelle (Cauvin et al, 2008. L'avènement et le développement des modèles dynamiques et des Systèmes d'Information Géographique dans les dernières décennies ont toutefois permis d'intégrer des données temporelles dans l'étude des phénomènes/objets qui se situent dans l'espace et dans le temps.

En plus des dimensions scalaire et temporelle qui permettent d'identifier le degré de complexité d'un système en géographie ou encore, dans d'autres disciplines où elle est beaucoup plus relative à la modélisation et à la simulation, il y a la dimension humaine de la complexité et/ou facteur anthropique qui, à travers la prise de décision (mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport, choix de la localisation des activités économiques...) ou à travers le comportement des acteurs au sein d'un système donné (comportement de mobilité, choix d'un mode de transport...), doit être considérée comme un élément pouvant renforcer cette complexité voire même dans certains cas la faire exister. Parce que l'individu en tant qu'acteur est au centre des processus qui motivent les changements, comme l'ont déjà démontré les travaux de l'illustre géographe suédois Torsten Hägerstrand, (1976) sur la *Time geography*. La Time Géographie est cette « approche », ce « courant », cette « théorie », cet ensemble de « modèles » que des scientifiques, à l'instar de Hägerstrand considèrent comme étant une « ontologie » et définissent comme signifiant explicitement la mise en évidence de l'articulation existante entre l'individu, l'espace et le temps dans les processus de modélisation des systèmes complexes, en l'occurrence des dimensions spatiales des sociétés humaines. D'ailleurs Nigel Thrift (1983) précise que la Time Géographie s'inquiète de la coordination spatio-temporelle des comportements humains : *It examines the coordination of individuals' possibilities of action in time and space with existing object and organisation of time*).

Ainsi, c'est à l'examen de l'importance de la dimension anthropique dans les processus de formalisation de l'évolution des systèmes spatiaux que nous proposons dans la section suivante de voir comment l'action humaine se place au centre de la complexité.

1.2.3. La dimension anthropique de la complexité : le jeu des acteurs au cœur de la complexité du système

La gouvernance territoriale est d'autant plus complexe qu'elle se déploie généralement à différentes échelles spatiales. Cette complexité liée à la prise de décision humaine et les nombreuses incertitudes qu'elle entraîne a favorisé le développement et l'utilisation de méthodes comme les *Fuzzy Sets (Ensembles Flous)*, la théorie des évidences, etc. (Hagen, 2003 ; Hubert-Moy *et al.*, 2002 .). Les Systèmes d'Informations Géographiques et de nombreux modèles dynamiques et spatialement explicites se positionnent aujourd'hui comme des outils incontournables pour l'aide à la décision car l'homme est bien cet *acteur géographique qui, par ses actions, transforme son environnement naturel et social, tout en n'étant plus déterminé totalement par lui*. Il devient ainsi l'élément central dans les processus d'organisation des systèmes. Etant donné que *L'action humaine* est un facteur qui vient déterminer et façonner le devenir des territoires, les acteurs sont à la fois en amont de l'organisation du système parce qu'ils initient des projets de territoire et se situent dans le même temps en aval de ces projets car ils proposent des mesures d'accompagnement pour que ces projets deviennent des enjeux de développement territorial. Les acteurs sont ainsi au centre des facteurs qui peuvent influencer l'évolution des territoires. Il n'en demeure pas moins que la prise en compte du « raisonnement humain » reste difficile dans les processus de modélisation/simulation.

1.2.4. De la complexité à la simplicité : proposition d'une brève introduction de la pensée simplexe

Le maître mot du début du XXI^{ème} siècle est celui de la complexité. L'économie est complexe, la vie dans les mégapoles est complexe, les mécanismes de la maladie d'Alzheimer sont complexes. Trouver le bon biocarburant pour remplacer le pétrole est complexe, gérer des familles séparées et permettre à la fois le développement harmonieux des enfants est complexe. Nous sommes écrasés par la complexité. (Berthoz, 2009).

En jetant les bases de la théorie de la simplicité, des chercheurs comme Morin (1990) Gribbin (2004), Bonabeau (2007), Berthoz (2009) et plus récemment Pina et Rego, (2010), ne renient pas la complexité. Bien au contraire, dans leur démarche, ils proposent une ouverture au paradigme de la complexité car la simplicité, d'une certaine manière, contient de la complexité. Mais quel sens revêt le concept de simplicité ? Simplicité, du terme anglo-saxon *simplicity*, est communément utilisé par les géologues depuis les années 1950. Ce concept est trop souvent faussement assimilé à de la « simplicité » qui renvoie à l'absence de toute forme de complexité. Aussi, pour Berthoz, la simplicité est autre que la simplicité. Dans son ouvrage « la simplicité », paru en 2009, il indique que la simplicité « *est d'abord une propriété du vivant* ». Considérant que le vivant est complexe dans son fonctionnement, dans

son essence et dans son comportement, alors, le vivant est complexe. La simplicité est donc fondamentalement liée à la complexité avec laquelle elle partage la racine commune « plex ». Etymologiquement parlant, la simplicité c'est « ce qui ne fait qu'un pli » alors que la complexité dérive d'un mot signifiant « plié avec, entrelacé »²⁹.

La simplicité est *cette complexité déchiffrable, car fondée sur une riche combinaison de règles simples* (Berthoz, 2009). En définissant ainsi la simplicité, Berthoz se rapproche de Nicolas de Cuses (1401-1464)³⁰. Mais dans une acception plus détaillée du concept de la simplicité, l'auteur propose la définition suivante : *La simplicité est un ensemble de solutions trouvées par des organismes vivants pour que, malgré la complexité des processus naturels, le cerveau puisse préparer l'acte et en anticiper les conséquences. Ces solutions ne sont ni des caricatures, ni des raccourcis, ni des résumés. Posant le problème autrement, elles permettent d'arriver à des actions plus élégantes, plus rapides, plus efficaces. Elles permettent aussi de maintenir ou de privilégier le sens, même au prix d'un détour.* (Berthoz, 2009). La simplicité est un nouveau concept. Il ne s'agit pas ici d'accepter ou de rejeter ce concept. Il s'agit tout simplement dans le cadre de la réflexion portant sur la complexité de porter à connaissance la gestation de nouvelles théories et/ou de nouveaux paradigmes.

Nous le savons, le réel est complexe. C'est pour cette raison que des lois existent, des idéologies naissent afin de se substituer à la réalité (Morin, 1990, 2005). Toutefois, le scientifique est invité à rester vigilant à toute forme de tentative de faire abstraction de la complexité, fondement même du réel. Les géographes qui travaillent sur l'organisation des systèmes, au sens organisation dynamique, ont saisi l'importance de prendre en compte la complexité du réel, or, comme nous le savons, il n'est pas d'organisation sans complexité. Ainsi, les géographes proposent d'appréhender la complexité à travers des démarches (systémiques par exemple) et des facteurs géographiques suffisamment calés au réel pour pouvoir traduire la complexité des systèmes étudiés.

Simplicité et complexité sont deux notions qui coexistent et qui s'articulent dans le cadre de l'évolution des systèmes et phénomènes complexes, d'où la notion de simplicité et d'où la question suivante : est-il possible de comprendre les systèmes complexes dans leur devenir et dans leur état actuel si au préalable leurs caractères les plus simples ne sont pas considérés ? Si l'on considère comme Gribbin (2004) que « complexity arises from simplicity », la réponse est non et suggère que, le rôle de la simplicité soit considéré pour permettre la compréhension des systèmes complexes.

²⁹ Le « plic » pour le pli et le « plex » pour l'entrelacé viennent tous les deux de la même racine indoeuropéenne « plek » Gell-Mann M., *Le Quark et le Jaguar*, op. cit., p 45.

³⁰ Nikolaus Cusanus, 1401-1464 avait déjà réfléchi au problème. Inspiré par le commentaire de Proclus sur le Parménide de Platon, il propose de résoudre le problème de la simplicité/complexité par ce qu'il appelle la *coincidentia oppositorum*, la « coincidence des forces ou des opposés », utilisant comme méthode deux pyramides quadratiques en rapport avec l'*arithmetica universalis* de Pythagore.

1.3. Le parti retenu : appréhender l'évolution du système transfrontalier par la modélisation spatiale

La complexité, comme nous avons pu le noter, dépend de plusieurs facteurs et devient ainsi difficilement saisissable. Elle nécessite donc de mobiliser des méthodes et moyens à l'image de la modélisation et de la simulation pour l'appréhender (White *et al.*, 1994 ; Williams, 1997). Nous pouvons ainsi distinguer un certain nombre de facteurs clés à considérer dans le cadre de la modélisation et simulation des systèmes complexes. C'est Verburg en 2002 qui évoque ces différents facteurs que certains chercheurs désignent sous les termes de *paramètres et/ou sous-systèmes*. Après les avoir adaptés à la thématique de notre recherche, nous avons choisi de les nommer : *facteurs géographiques*, « paramètres » pouvant être compris dans d'autres disciplines comme les mathématiques, comme uniquement liés à la mesure ou à tout objet et/ou phénomène quantifiable.

Aussi, c'est en nous appuyant sur de récents travaux de géographes (Le Moigne, 1999 ; Agarwal *et al.*, 2000 ; Verburg, 2004a, 2006 ; Corgne *et al.*, 2006), et aussi sur des recherches non spécifiquement géographiques mais qui évoquent certains de ces facteurs géographiques dans le cadre de l'étude de la complexité comme ceux de Bak, P et Paczusi en 1993, avec leur « populaire » interrogation : *Why Nature Is Complex*, pour apporter des éléments de réponse au « pourquoi de la complexité », que nous proposons *les facteurs géographiques* récurrents à considérer au préalable d'une démarche de modélisation et/ou simulation des systèmes complexes. Ces facteurs géographiques sont les clefs ouvrant l'accès à la compréhension du fonctionnement des objets/phénomènes complexes et de leur évolution possible dans l'espace et dans le temps.

1.3.1. Interactions prépondérantes des échelles spatio-temporelles et des différents sous-systèmes

En prenant l'exemple des infrastructures de transport qui desservent un système territorial donné, Patrick Bonnel (2004) montre la nécessité qu'il y a de confronter les différentes échelles spatio-temporelles d'analyses tout comme les différents sous-systèmes³¹ (cf. figure 1.5 et tableau : 4).

³¹ Dans l'exemple tiré de l'ouvrage de Patrick Bonnel (2004) le système urbain est décomposé en trois sous-systèmes. L'auteur distingue ainsi le sous-système de transport c'est-à-dire « l'ensemble des infrastructures de transport quel qu'en soit le mode sur le territoire considéré (...) », ensuite le sous-système de localisation qui fait référence aux différentes activités et qui « correspond à l'inscription dans l'espace des équipements où sont réalisées les activités urbaines (...) » et enfin le sous-système de relations sociales qui « correspond à l'ensemble des relations et activités des acteurs du système urbain. Son inscription dans l'espace traduit le fonctionnement socio-spatial de la ville. Pour les individus, il transparaît au niveau des pratiques urbaines, c'est-à-dire des comportements d'activités et de mobilité (...) » Bonnel 2004 p. 27.

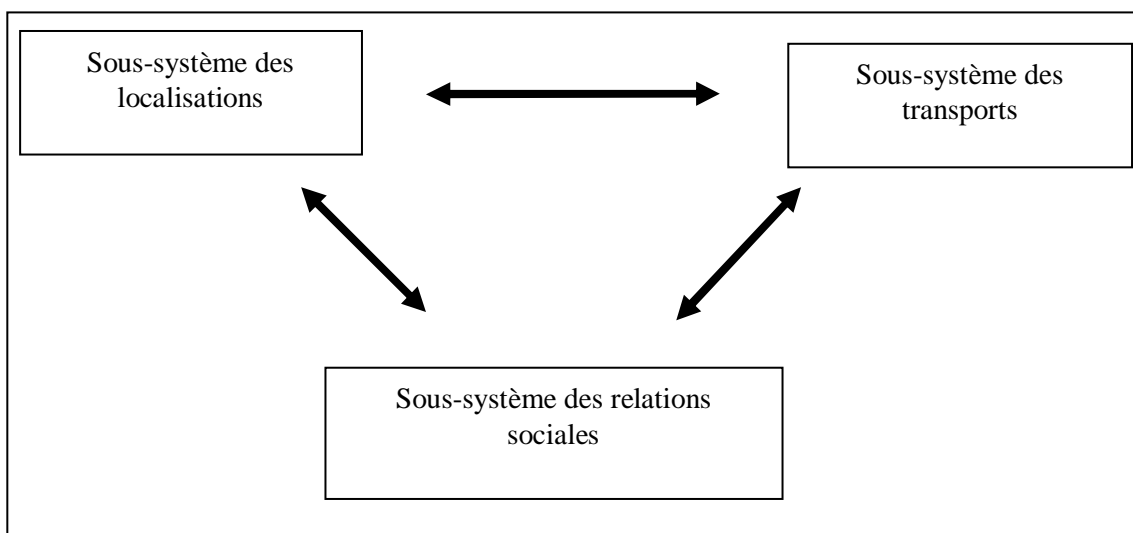


Figure 1.5 : « Interactions prépondérantes entre les trois sous-systèmes »

Source : Bonnel, 2004, p. 28

Tableau 4 : « Echelle spatio-temporelle et modélisation »

	Court terme < à 5 ans	Moyen terme 5 à 15 ans	Long terme > à 15 ans
Quartier	-A- Interaction négligeable	-B-	
Zone	-A-B-	-B- Prise en compte partielle des interactions entre les sous-systèmes urbains	-B-C-
Agglomération	-B-	-B-C-	Les interactions sont prépondérantes pour l'avenir lointain

Source : Bonnel, 2004, p. 28

1.3.2. Facteurs de changements, interactions spatiales et effets de voisinage

Localisation d'une nouvelle gare TGV, d'une nouvelle station de tramway, d'un arrêt de bus, rénovation urbaine, problématique des jeux d'acteurs, changement climatique, conjoncture politique et économique, événement sportif de grande ampleur, etc., le nombre des facteurs de changement à prendre en compte est souvent considérable pour évaluer un phénomène socio-spatial évolutif. D'où l'impossibilité pour le scientifique de les intégrer tous dans un même processus de modélisation. C'est pour cette raison que le choix des facteurs déterminants doit au préalable faire l'objet d'une recherche approfondie souvent à partir d'une approche systémique permettant d'isoler les facteurs les plus pertinents. Au niveau du modèle, le choix des facteurs de changements est primordial car, de la complexité du modèle dépend le choix des facteurs. Trois approches pour appréhender les facteurs de changement sont proposées (Verburg, 2004a ; Corgne, 2004 ; Houet, 2006) : (1) Les relations établies

entre les changements que subit le phénomène étudié et les facteurs de changements qui sont impliqués ; (2) L'utilisation de méthodes empiriques quantifiant les relations entre les facteurs de changements et le phénomène en question via des techniques statistiques ; (3) Les recours aux « dires d'experts » ou « connaissances d'experts », les experts pouvant être des acteurs ou autres gestionnaires des territoires.

L'utilisation de différents types de connectivités entre les unités spatiales distinctes sont un moyen de détermination des *interactions spatiales et des effets de voisinage* (Tobler, 1978). A partir de là deux niveaux types de connectivités peuvent être distingués: (1) Une connectivité/connexité de réseaux qui participent à la structuration et à l'organisation de l'espace (lignes à grande vitesse/TGV, aéroports/hubs, ports, autoroutes/routes, télécommunication (...)), (2) Une connectivité liée aux différentes règles et lois en vigueur sur un territoire (PLU, DTA, SCOT, loi montagne, loi littorale...) comme l'indique d'ailleurs le diagnostic spatial évoqué dans la première partie de cette étude.

Les différents facteurs géographiques énumérés précédemment sont à replacer dans le cadre de la compréhension de l'évolution des systèmes complexes et doivent permettre ainsi, de mieux orienter les objectifs dans tous processus de modélisation/simulation.

1.3.3. Dynamiques temporelles et définition des trajectoires de changement

Les processus à l'origine de l'évolution des phénomènes étudiés se produisent à partir de conditions endogènes et/ou exogènes ainsi que d'événements aléatoires rendant difficile leur appréhension. Cependant, trois échelles permettent de comprendre leur évolution temporelle et par là même leur dynamisme (Bonnel, 2004). Il s'agit (1) du ***long terme***, supérieur à 15 ans (2) du ***moyen terme***, situé entre 5 et 15 ans (cf. tableau 4). Les modèles de simulation faisant référence au moyen et long termes sont généralement orientés vers des simulations prospectives et dans des domaines spécifiques comme les impacts d'une infrastructure de transport à grande vitesse ou d'un aéroport sur le développement d'un territoire et enfin (3) le ***court terme*** qui se définit en jours, en semaines, en mois et rarement supérieur à cinq ans (cf. tableau 4). Le court terme est généralement utilisé pour effectuer une modélisation prédictive, notamment dans des domaines spécifiques comme l'Hydrologie, la Climatologie, la Médecine, etc.

1.3.4. Niveaux d'intégration et de validation des modèles : modélisation et simulation spatiale

C'est certainement l'une des phases les plus critiques et les plus angoissantes. Ici, le chercheur s'aperçoit finalement que tous les facteurs géographiques dans la plupart des cas sont difficiles, voire impossibles à considérer par son modèle (quelle que soit sa nature). Toutefois, deux niveaux d'intégration et de validation du modèle lui sont proposés afin de mieux rendre compte de la réalité observée du phénomène étudié ainsi que du futur probable simulé par le modèle lui-même. Les deux niveaux d'intégration à prendre en compte sont les

suivants: (1) *L'analyse séparée des différents sous-systèmes avec des interactions supposées négligeables*. Cette option semble privilégier une vision simplificatrice du modèle ; (2) *Les interactions entre les sous-systèmes sont privilégiées et analysées de façon conjointe*. Cette deuxième option, contrairement à la première, vise à complexifier le modèle. Ainsi, « un compromis approprié entre ces deux niveaux d'intégration doit être trouvé : une trop grande complexité d'un modèle le rend difficilement opérationnel et reproductible ; à l'inverse une simplification à outrance le rend peu fiable, voire inutile » (Corgne 2004, p. 48).

Par ailleurs, le chercheur dispose de deux niveaux de validation : (1) Le premier niveau renseigne sur les taux de fractions correctes et erronées estimés par le modèle pendant l'étape de la simulation (Hagen-Zanker, 2005), (2) Le deuxième niveau de validation renseigne sur l'aspect qualitatif de la recherche. Les résultats de la simulation sont souvent validés par comparaison à un phénomène déjà existant et similaire ou par recours aux avis d'experts ou encore en comparaison à d'autres simulations du même ordre.

À l'issue de cette analyse, on peut dire que les systèmes sont complexes parce que l'on n'a pas de prise sur eux. Ils ont une certaine autonomie qui implique l'existence d'une inertie spatiale (l'influence du passé sur le présent). La question est, jusqu'à quel point y a-t-il inertie ? Jusqu'à quel point cette inertie peut déterminer (en partie ou totalement) le devenir des systèmes complexes comme les systèmes transfrontaliers ?

Conclusion du chapitre 1 partie 2

Les systèmes sont par essence complexes en raison des multiples « actions », « interactions » et/ou boucles de « rétroaction » positives et/ou négatives qui les caractérisent, et qui par conséquent orientent leurs trajectoires évolutives, font émerger des structures nouvelles encore plus complexes font apparaître des *bifurcations* en définissant des phases de *transition* épousent des formes nouvelles qui, initialement n'était pas prévisibles comme l'illustrent les études basées sur les *fractales*. C'est donc dans un tourbillon de processus et de structures émergentes qu'il faut orienter les dires de Vicsek et Szalay en 1987 qui affirment que : *Nature can produce complex structures even in simple situations, and can obey simple laws even in complex situations*. L'émergence de nouveaux et surprenants éléments, états et/ou nouvelles formes de structures, qui sont les produits des différents processus d'évolution, fonde le caractère complexe des systèmes et justifie la popularité des modèles dynamiques, à l'image des modèles basés sur les automates cellulaires. Ces types de modèles visent à décrire, expliquer la réalité présente et à prévoir dans la mesure de leurs performances, le futur possible et probable des systèmes complexes.

Cependant, gardons à l'esprit que le modèle n'est *qu'une représentation simplifiée de la réalité, destiné à mieux la comprendre ou à agir sur elle*, et qui consiste tout d'abord à privilégier certaines entrées, certaines sorties et certaines relations causales que l'on peut représenter à travers le cadre conceptuel (Guitton, 1964).