



HAL
open science

La complexité en géographie

Denise Pumain

► **To cite this version:**

Denise Pumain. La complexité en géographie. Denise Pumain. La modélisation en géographie, villes et territoires, ISTE, pp.1-30, 2019, 978-1-78405-672-8. halshs-04505605

HAL Id: halshs-04505605

<https://shs.hal.science/halshs-04505605v1>

Submitted on 15 Mar 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Chapitre 1 : La complexité en géographie

Denise Pumain

Les trois ou quatre dernières décennies ont totalement renouvelé les pratiques des géographes en termes de modélisation. Deux grands changements, l'un d'ordre épistémologique, l'autre technique, sont à l'origine de ces transformations. Le changement technique est la formidable expansion des capacités de traitement de l'information, qui ont rendu possibles des travaux qui n'avaient pu auparavant qu'être esquissés comme des expériences de pensée, ou que très incomplètement menés à bien faute de moyens de calcul assez puissants. Ce changement technique a permis depuis les années 2000 environ de mettre en œuvre pleinement un grand changement épistémologique intervenu quelque temps auparavant, dès les années 1970-1980. Il s'agit de l'introduction en géographie des paradigmes et des modèles issus des sciences de la nature, dont les maîtres mots sont l'auto-organisation (les structures dissipatives de Prigogine et Nicolis 1971), la synergetique (Haken 1977 ; Weidlich 2006) puis la complexité et la notion d'émergence (Bourgine *et al.* 2008). Nous ne rappellerons pas ici ces filiations qui sont déjà mentionnées dans plusieurs ouvrages (par exemple, Pumain *et al.* 1989 ; Sanders 1992 ; Dauphiné 2003). Nous voulons montrer comment ces formes de modélisation ont pu être facilement, non pas simplement *appliquées* en géographie, mais aussi faire l'objet de véritables *transferts de modèles*, dans la mesure où bon nombre de théories de la discipline avaient déjà largement anticipé le besoin des formalisations nouvellement proposées.

Transférer un langage scientifique, des concepts, des méthodes et des instruments d'une discipline à une autre n'est une opération féconde que si elle répond à une attente, un besoin réel d'innovation. En l'occurrence, ce n'est pas tant le paradigme de la complexité en tant que tel qui a constitué la nouveauté pour les sciences humaines et sociales, puisque de tout temps elles ont été confrontées à l'irréversibilité des trajectoires de leurs objets, à la quasi-impossibilité de la prévision et aux phénomènes d'émergence dans les systèmes étudiés. C'est parce que les sciences de la complexité apportent des méthodes complémentaires, des moyens pour traiter les informations et formaliser des connaissances que les géographes ont été nombreux à adopter ces références pour travailler leurs modélisations. Celles-ci ont contribué à construire des savoirs cumulables lorsque les intuitions acquises antérieurement pouvaient bénéficier du transfert. C'est pourquoi il a semblé utile dans ce chapitre liminaire de rappeler, pour les géographes mais aussi pour les lecteurs formés à d'autres sciences, quels sont les fondamentaux disciplinaires sur lesquels la modélisation en géographie peut s'appuyer, notamment pour traiter de ces objets complexes que sont les villes et les territoires. On retrace rapidement quelles ont été les postures successives des géographes face aux possibilités de la modélisation, puis on relève un ensemble de régularités plus facilement modélisables parmi les objets qu'étudie la géographie. Ces régularités entraînent en partie des pratiques particulières de la modélisation par les géographes, lesquelles sont largement motivées par la multiplicité des échelles d'observation, mais aussi beaucoup plus sollicitées au cours des deux dernières décennies par l'afflux des données géo-localisées, qui ouvre de considérables possibilités de développement.

L'idée générale est que la complexité des objets et des processus observés par les géographes se construit toujours, non pas tant dans l'énoncé de « lois » universelles, mais le plus souvent en incluant des éléments de contexte spatio-temporel, comme dans les autres sciences humaines et sociales, qui sont fondamentalement des « sciences historiques » (Passeron 1991). Ces disciplines ont en partage avec les sciences de la nature certaines formes de relations non linéaires, des processus d'auto-organisation, de morphogenèse, des dynamiques orientées par des attracteurs ou encore des phénomènes d'émergence caractéristiques des systèmes complexes, formalisables sur des ensembles de cas précis ou des morceaux de leur trajectoire. La géographie ajoute à cette complexité de processus non linéaires la particularité de s'intéresser à une très large diversité de variables et de niveaux d'observation, incluant des éléments naturels et sociaux, dans ses tentatives de formalisation de l'évolution des paysages, des villes et des territoires, ce qui donne une dimension supplémentaire à la complexité des systèmes qu'elle modélise¹.

1 Une première bifurcation dans l'épistémologie de la modélisation en géographie

La géographie apparaît parmi les sciences humaines et sociales comme l'une de celles qui pratiquent le plus la modélisation (Sanders 2001 ; Banos 2013). La géographie a souvent été désignée comme pionnière pour l'utilisation d'outils numériques. Ce n'est pas tout à fait un hasard si un philosophe a choisi de tester avec cette discipline ses conceptions de la modélisation (Varenne 2018).

On touche là un paradoxe : en effet la géographie pouvait sembler jusqu'à une date récente comme une « science molle », dans la mesure où elle n'affirme pas des théories aussi puissamment unitaires que l'économie dite « *mainstream* », ou n'exporte pas autant ses concepts que la sociologie, si l'on pense par exemple à la « *French theory* » en vogue aux États-Unis depuis au moins trente ans. Mais la « révolution » théorique et quantitative amorcée dès les années 1950 en Suède et aux États-Unis, puis bien développée en France à partir des années 1970 (Pumain et Robic 2002 ; Cuyala 2013), explique sans doute en grande partie que dans les années 1990 se soit opéré un certain « tournant spatial » dans la plupart des sciences humaines et sociales. Les concepts et les méthodes, des outils logiciels comme les systèmes d'information géographiques mais aussi les questions de recherche apportées par les pratiques de modélisation de l'espace géographique (Banos 2016 ; Bonhomme *et al.* 2017) ont été importés avec profit dans presque toutes les disciplines.

Pourtant, dans le langage courant comme dans bon nombre de représentations du sens commun, la « géographie » ou description de la Terre semble parfois se résumer à des nomenclatures, à la connaissance des localisations (latitude, longitude, altitude) et des noms de lieux, les toponymes que les sociétés leur ont associés, qu'il s'agisse de chaînes de montagnes, de fleuves, d'îles ou de villes. Mais la science géographique académique, une fois passée l'époque des voyages d'exploration et des « découvertes » de régions de peuples autochtones par les peuples colonisateurs, s'est fondée vers la fin du XIXe siècle sur des questions destinées à comprendre les raisons de la diversité des empreintes façonnées par les sociétés à la surface de la terre. Paysages agraires et formes d'habitat, exploitation des ressources minières et productions

1 Quelques autres disciplines comme l'archéologie ou encore l'épidémiologie sociale et environnementale traitent aussi d'indicateurs touchant aux sciences de la nature autant qu'aux sciences humaines et sociales.

industrielles, disposition des villages et des villes, voies de circulation et flux matériels ou immatériels ont été scrutés à toutes les échelles, dans la diversité des milieux géographiques et selon leur évolution au cours de l'histoire. Deux grands types d'explication ont successivement dominé les recherches. Dans la première moitié du XXe siècle, on s'est surtout interrogé sur les relations entre une société et le milieu qu'elle habite, en spéculant sur le caractère plus ou moins favorable ou contraignant des conditions naturelles et de la capacité sociale à les mettre en valeur, selon une interprétation en quelque sorte « verticale » de ses relations avec les ressources offertes localement par la planète. Dans la seconde moitié du XXe siècle a émergé une autre façon de produire des explications, plus « horizontale », qui tend à interpréter les caractéristiques d'un territoire ou d'une ville à partir de sa situation dans le monde, c'est-à-dire de ses relations avec les autres territoires et les autres villes. En vérité, ces deux formes explicatives, qui conduisent à des modélisations très différentes, sont complémentaires et sont nécessairement articulées dans toute interprétation géographique d'une ville ou d'un territoire particuliers.

1.1 Des explications « verticales » pour la « science des lieux et non des hommes »²

Dans son histoire académique, la géographie s'est longtemps située à l'interface entre les sciences naturelles et les sciences humaines. Prenant en charge la description de la planète (Robic *et al.* 2006) et de sa transformation en *milieux* et *paysages* par les sociétés (Robic 1992), elle n'avait construit que peu de modèles généraux. La relation entre l'organisation matérielle des sociétés et les ressources naturelles, médiatisée par les zones climatiques et altitudinales, avait été bien observée et décrite, elle laissait apparaître quelques régularités. Celles-ci mettaient notamment en évidence des interdépendances assez étroites entre les sociétés anciennes et le caractère local des ressources minérales et végétales employées dans l'habitat et l'agriculture, qui n'excluait pas cependant des échanges à longue distance portant sur des denrées plus rares. Lorsque de telles régularités ont été systématisées à outrance (faisant dire par exemple, « le calcaire vote à gauche, le granit vote à droite » en caricaturant les positions d'André Siegfried, géographe fondateur de la sociologie électorale dans les années 1930 qui en fait reliait l'hydrographie de ces milieux à leur forme d'habitat, groupée ou dispersée, et au degré de dépendance des habitants à la domination des propriétaires fonciers), les énoncés correspondants ont été vite récusés sous l'accusation de « déterminisme ». Inversement, constater la grande diversité des sélections et des combinaisons de ressources opérées par les sociétés dans des conditions physiques plus ou moins équivalentes pouvait aussi, à l'inverse, conduire à un « exceptionnalisme » (Schaefer 1953). Cette expression recouvre la critique de Schaefer, tant à l'encontre de la revendication, fréquente à l'époque, d'une spécificité de l'explication géographique, fondée sur une génétique des lieux, que de sa conséquence consistant à mettre en exergue l'unicité (*uniqueness*) des lieux. Les idiosyncrasies régionales ont fait l'objet de maintes démonstrations réfutant la possibilité de montée en généralité, les auteurs insistant tantôt sur la forte contrainte exercée par les ressources locales et tantôt sur le libre arbitre social vis-à-vis de leur modes d'utilisation et de leur transformation, ainsi que dans la diversité de leurs créations quant aux formes de leurs organisations politiques, sociales et culturelles. Dans les premiers temps de la géographie académique, c'est donc plutôt la géographie physique, dans les domaines de la géomorphologie ou du climat, qui permettait des

² L'expression entre guillemets est de Vidal de la Blache, dans l'intention de caractériser le projet de la géographie pour le distinguer de celui de la sociologie durkheimienne qui s'institutionnalise à la même époque, entre fin XIXe et début du XXe siècle.

modélisations. Ainsi, dès le début des années 1960, le géographe anglais Richard Chorley (1962) militait pour une transposition à la géomorphologie de la théorie générale des systèmes de von Bertalanffy et préconisait une conception de systèmes ouverts, aussi bien pour la géographie physique que pour la géographie humaine³. Dans de tels systèmes, la deuxième loi de la thermodynamique ne s'applique pas et les évolutions ne sont pas dirigées vers l'entropie maximale et l'homogénéité, mais d'autres processus y engendrent toutes sortes de configurations, formalisées dans des modèles, qui sont répertoriés cinq ans plus tard dans un ouvrage rédigé avec Peter Haggett pour ces deux branches de la géographie (Chorley et Haggett 1967).

1.2 Des explications « horizontales » pour la science de la spatialité des sociétés

Quelques régularités d'un autre ordre avaient en effet été aperçues depuis au moins le début du XIXe siècle dans l'organisation des villes et des territoires, et donné lieu à plusieurs types de tentatives de formalisations, par des modèles mathématiques ou des représentations iconiques. Les régularités de l'espacement des villes, la hiérarchie de leurs fonctions et les emboîtements de leurs zones de chalandise avaient été décrits dès 1841 par le saint-simonien Jean Reynaud comme un « système général des villes » fortement contraint par le recours au service le plus proche et engendrant donc des formes d'aires de services circulaires ou hexagonales, emboîtées selon une hiérarchie de rareté des services urbains (Reynaud 1841 ; Robic 1982). Ce concept et les modèles spatiaux dérivés n'eurent guère de retentissement dans l'immédiat mais les principes d'une théorie associant la taille des villes à la plus ou moins grande rareté de leurs fonctions économiques et à l'étendue de leur clientèle dans la région environnante furent redécouverts et systématisés par le géographe allemand Walter Christaller (1933) dans une « théorie des lieux centraux », qui fit l'objet de multiples tests dans toutes les parties du monde (Berry and Pred 1961). Cette théorie incluait en fait le modèle antérieur connu sous l'appellation de « loi de Reilly » (Reilly 1931) qui expliquait la localisation des activités commerciales par les concurrences entre des commerces et des services fréquentés par des consommateurs sous la contrainte de la proximité. Dans le modèle de Reilly comme chez Christaller, les coûts de déplacement sont à la charge du consommateur et s'ajoutent au prix des biens, incitant les personnes à s'approvisionner au lieu le plus proche. Cela détermine, dans les représentations cartographiques, des aires de chalandise de forme plus ou moins circulaires, qui s'emboîtent sous forme d'hexagones dans les schémas spatiaux dessinés par Christaller.

En fait, ces premiers modèles géographiques valident ce que le géographe cartographe américain Waldo Tobler (1970) devait désigner plus tard comme « la première loi de la géographie » (« tout interagit avec tout, mais deux choses proches ont plus de chances d'interagir que deux choses éloignées »). Cette loi résume nombre d'observations antérieures faites au sujet des déplacements des populations dans l'espace. Les premières formalisations peuvent en être attribuées au cartographe géographe Ernst Georg Ravenstein (1885), qui publia à partir de 1885 plusieurs articles résumant les principales caractéristiques des déplacements de

³“Open-system thinking, however, directs attention to the heterogeneity of spatial organization, to the creation of segregation, and to the increasingly hierarchical differentiation which often takes place with time. These latter features are, after all, hallmarks of social, as well as biological, evolution” (p.10). (« La conception en systèmes ouverts, cependant, met l'accent sur l'hétérogénéité des organisations spatiales, sur la création de ségrégations, et sur la différenciation hiérarchique qui s'accroît avec le temps. Ces aspects sont, en fait, des marques spécifiques de l'évolution biologique et sociale »).

population à une époque de fort exode rural sous le titre « les lois de la migration » dans une revue britannique de statistique.

C'est le géographe américain Edward Ullmann qui a proposé dès 1954 de définir la géographie comme la science des interactions spatiales. Dans sa « *geography as spatial interaction* » il introduit certes le même modèle « physique » que l'astrophysicien Stewart (1948), à savoir un modèle « gravitaire » (les flux entre deux unités géographiques sont proportionnels au produit de leurs masses et inversement proportionnels à la distance qui les sépare) mais il en réalise une véritable transposition vers les sciences sociales. Il précise en effet quelles sont les conditions géographiques qui sont susceptibles d'expliquer l'échange et le mouvement : il faut qu'existe une complémentarité entre une demande pour un produit donné issue d'un certain lieu origine et les ressources disponibles dans un lieu d'approvisionnement en destination du mouvement, et il faut que le déplacement soit possible, donc pas trop coûteux, pour que l'échange puisse se réaliser. Le principe caractéristique qui organise l'espace géographique est donc la contrainte de proximité, il inclut le principe « sociologique » qui le met en pratique stipulant que le choix se porte sur la destination la plus proche. Il faut aussi qu'il n'y ait pas à une distance moindre de lieux offrant le même produit, ces localisations intermédiaires que le sociologue Stouffer (1940) appelle les « occasions interposées » (*intervening opportunities*).

La géographie qui se construit sur ces bases (Abler *et al.* 1977) se conçoit alors comme une *science de l'organisation de l'espace*. Cette expression a été forgée par le géographe français Jean Gottman (1964) à propos de la *Megalopolis* nord-américaine, cet ensemble de villes qui s'étend de Boston à Washington. Bien que constitué d'entités urbaines distinctes, dont le bâti urbain n'est pas continu, ce grand ensemble régional apparaît comme une unité fonctionnelle du fait de la multiplicité des réseaux de communication et d'échanges qui connectent ces villes entre elles et qui les rendent complémentaires dans un territoire différencié. Le concept de *région* se dégage alors progressivement des critères d'homogénéité paysagère ou de délimitation historique qui le fondaient jusque-là pour s'enrichir d'un concept de *région fonctionnelle* défini par la polarisation des flux de circulation et les fortes interdépendances économiques et sociales entre les villes et les campagnes qui la constituent. Cette nouvelle forme prise par les interrogations géographiques permet alors, sous l'appellation d'« analyse des localisations » (Haggett 1965), de repérer toutes sortes de régularités dans l'espace géographique, et de construire des modèles canoniques, dont les ancêtres sont souvent d'ailleurs partagés par les économistes spécialistes de la « science régionale » naissante (Isard 1966).

La traduction en français de l'ouvrage de Peter Haggett chez Armand Colin par Hubert Fréchu en 1973 en convertit le titre en « analyse spatiale ». Cette expression, qui sera reprise dans des manuels ultérieurs (par exemple Pumain et Saint-Julien 1997), fait l'objet d'une des trois grandes entrées de l'encyclopédie en ligne Hypergeo, intitulée « la spatialité des sociétés », à côté des entrées « sociétés et environnement » et « villes, régions et territoires ». La notion d'analyse spatiale recouvre en langue française une perspective centrée sur la géographie humaine et un contenu théorique plus vaste et moins strictement technique que dans les usages des géographes anglais ou nord-américains. Par exemple, les géographes anglais Paul Longley et Michael Batty associent étroitement dans leurs ouvrages de 1996 et 2003 l'analyse spatiale aux logiciels spécialisés des systèmes d'information géographique, et la préface de leur ouvrage de 2003 la définit comme « *a kind of data mining technology* ». Plus englobantes, les définitions que donnent les géographes de langue française pour l'analyse spatiale y intègrent volontiers

les énoncés des théories et des modèles, et certains spécialistes de la « géographie sociale » ont parfois aussi revendiqué cette expression pour désigner leur activité.

1.3 Le statut discuté de la modélisation

Dès les années 1970 les tentatives de modélisation en géographie ont fait l'objet de vives critiques. Pour n'en citer qu'une, mentionnons celle d'un des géographes les plus éminents de sa génération, Pierre George, membre de l'Institut, qui dénonçait tout à la fois un « aventurisme scientifique », « l'illusion quantitative » et un « nouveau déterminisme » (1972). Pour ce géographe marxiste, la critique porte avant tout sur l'idée que les formalisations quantifiées ne peuvent employer que des données biaisées, car dépendant des politiques qui les construisent. De façon plus surprenante, en se plaçant sur le terrain philosophique, Pierre George dénonce aussi une « mystification autrement plus grave » apportée par la « formalisation appliquée aux données géographiques ». Selon lui, elle « suppose, en effet, l'acceptation de l'idée que les hommes et leurs initiatives sont intégrés à des catégories concentrationnaires auxquelles il ne peuvent échapper que par un marginalisme statistiquement négligeable, politiquement et socialement répréhensible, le marginalisme de l'anomalie, par rapport à un système institutionnalisé et diffusé par tous les moyens modernes d'imposition de l'information et de la culture officielle » (1976, p. 54). Bien d'autres auteurs ont dénoncé les modèles comme étant trop généraux et réducteurs. L'emploi de modèles mathématiques, souvent assez simples, était dénoncé comme impropre à représenter correctement les processus individuels et sociaux, par exemple en termes de choix de localisation ou de déplacement. Le principal argument contre toute modélisation était celui du respect de la liberté humaine qu'il n'était pas question de représenter comme « obéissant » aux contraintes de la distance ou des conditions naturelles. La modélisation était aussi dénoncée pour des raisons politiques comme une tentative de « naturalisation » des processus sociaux, qui aurait valu comme acceptation de l'ordre établi et n'aurait pas permis sa remise en cause. Cette tension s'exprime bien aussi chez le géographe anglo-américain David Harvey qui accepte les modèles et la logique popperienne dans un premier ouvrage sur l'explication en géographie (Harvey, 1969) puis dans un deuxième s'intéresse aux rapports de domination dans l'espace urbain (Harvey, 1973) et enfin propose une critique marxienne du capitalisme et de l'impérialisme (Harvey 1982) – sans aller toutefois jusqu'à accepter la critique post-moderne ni renier la modélisation.

La dissociation entre des interprétations marxisantes et l'emploi de modélisations quantitatives a été souvent plus nettement affirmée dans les pays anglophones⁴ qu'en Europe continentale où la « révolution théorique et quantitative » s'opposait davantage à des géographes plus conservateurs, à la fois sur les plans politique et méthodologique. Les vagues successives de la géographie radicale, de la phénoménologie, puis de la géographie post-moderne qui ont émergé aux Etats-Unis depuis les années 1980 se sont répandues en Europe avec d'inégales intensités, tout en émettant maintes critiques à l'encontre de la modélisation (sous des prétextes de « fétichisation de l'espace », d'oubli volontaire des acteurs, des conflits, sociaux ou coloniaux, puis de l'oubli des représentations, des sensations, ou encore plus récemment des

4 Il existe des exceptions, dont celle de l'œuvre de William Bunge qui propose en 1962 une « Theoretical Geography » fondée sur des axiomes et assez géométrisante, mais qui analyse aussi avec des indices quantifiés les inégalités sociales dans la banlieue de Chicago (*Fitzgerald : geography of a revolution*, Cambridge, 1071 Schenkman Publishing Cy 1971) où il dénonce la captation de la rente foncière par les plus riches et les mauvaises conditions de vie imposées aux populations noires.

émotions...). Une définition intégrative de l'analyse spatiale comme « l'étude formalisée de la configuration et des propriétés de l'espace produit et vécu par les sociétés humaines » (Pumain et Saint-Julien 1997) proposée dans un manuel signifie une volonté d'apaisement de ces controverses, qui ont animé le débat dans toutes les sciences sociales. Dans les décennies 1990 et suivantes on observe un très grand développement des modèles, un élargissement de leurs utilisations pratiques et un enrichissement progressif de leurs contenus, largement soutenus par la généralisation des systèmes d'information géographique puis de l'intégration de la géolocalisation dans toutes sortes de dispositifs techniques (voir chapitre 6). Enfin, l'augmentation vertigineuse des capacités de calcul devait libérer la modélisation d'une partie des limitations qualitatives qui pouvait entraver la prise en compte des aléas et des spécificités individuelles dans les modèles (voir les chapitres 3, 4 et 5).

Selon notre perspective constructive en vue des modélisations, des propositions contraires aux modélisations, que reprennent encore aujourd'hui certaines publications, reposent sur des malentendus à dessein mal élucidés. Elles sont susceptibles d'entretenir des controverses, peu valorisantes pour l'image de la géographie, et peuvent être classées en trois grands types : celles qui récusent toute espèce de régularité dans l'organisation de l'espace des sociétés et nient l'utilité d'une discipline géographique ; celles qui traitent l'espace géographique comme un contenant inerte d'objets physiques et de rapports sociaux ; celles enfin qui situent toute explication dans le cadre exclusif d'une théorie d'inspiration mono-disciplinaire, comme certains modèles géoéconomiques, ou encore certains récits d'inspiration post-moderne ou certains textes militants. Nous affirmons cependant que la modélisation en géographie peut intégrer une très grande variété de processus sociaux, individuels et collectifs, et s'appuyer sur des connaissances établies par plusieurs disciplines, à différents niveaux de résolution et de granularité de ses objets, de la personne au monde. Tout comme une géographie plus discursive, la modélisation n'a pas pour fonction première de renforcer les pouvoirs en place, elle peut être mise au service du développement durable et des populations et des territoires les plus démunis.

2 Les régularités modélisées

Avec leurs théories de systèmes complexes, les physiciens qui entrent en sciences sociales pour y proposer des modèles sont souvent tentés d'y projeter certaines des contraintes qu'ils ont construites pour analyser les forces à l'œuvre dans le monde de la matière. Certes, l'énergie, sous les diverses formes du rayonnement solaire, de la gravité ou encore du travail animal, humain et mécanique est bien toujours prise en compte dans les artefacts techniques ou les organisations humaines, mais il est peu opérant de considérer qu'on aurait identifié là la principale contrainte (ou la dernière instance) qui régirait la construction de l'activité humaine à la surface de la terre et dont découlerait la forme des organisations socio-spatiales étudiées en géographie (West 2017). Les configurations des villes et des territoires modélisables par les géographes sont construites par du travail humain accumulé, effectué certes sous des contraintes matérielles, mais aussi avec quelques déterminants anthropologiques et sociaux bien identifiés. Ainsi du principe relativement universel de la « loi du moindre effort » énoncée par G.K. Zipf en 1949), ou encore des fréquents effets de domination politique, culturelle ou économique observés dans les relations et interactions sociales.

L'histoire, les formes d'organisation politique et économique des sociétés, leurs créations culturelles, sont toujours parties prenantes des explications proposées en « géographie

générale » ou dans des monographies locales ou régionales. Mais la géographie apporte en propre une dimension modélisable à ces constructions, auxquelles les autres disciplines des sciences naturelles et sociales sont articulées comme dans toute explication des systèmes sociaux complexes. Les modélisations prennent en compte des régularités majeures, qui sont admises, d'ailleurs souvent de manière implicite, par la plupart des géographes. Citons parmi ces régularités la contrainte de proximité qui fait jouer diverses expressions de la *distance* dans tous les modèles de gradient du type centre-périphérie, ou encore l'organisation de l'espace géographique en niveaux, conduisant à porter une grande attention à l'*échelle* des structures et des processus, ou bien encore la réduction des interactions par des frontières territoriales ou des barrières (physiques ou socio-culturelles) qui créent des *discontinuités*. Les modèles du changement spatial intègrent cette autre régularité qu'est la *persistance temporelle* des objets géographiques, certes plus courte que celles des époques géologiques ou des écosystèmes, mais tellement plus longue que celle des déplacements quotidiens ou des vies humaines ou même parfois que le passage des générations, qu'elle conduit à maintes réflexions sur la résilience des villes et des territoires et justifie leur modélisation.

Ces régularités majeures de l'organisation spatiale et de l'évolution de l'espace et des objets géographiques sont présentées ci-dessous dans des paragraphes distincts, ce qui introduit nécessairement quelques répétitions, car les processus qui les engendrent sont complexes, au sens des sciences sociales. Ils sont difficilement dissociables les uns des autres parce qu'ils interfèrent souvent dans la genèse des villes et des territoires.

2.1 Proximité et distances

Le concept de distance englobe toute une série d'indicateurs et de mesures de la séparation, adaptés aux différents types de relations prises en considération pour signifier l'écart, l'espacement ou l'éloignement, et qui ont très fortement élargi la portée du concept de distance dans l'explication géographique. Concevoir une distance, c'est en effet se donner une *représentation relationnelle de l'espace*, dont les propriétés dépendent alors de la nature de la distance choisie, donc de la forme des relations possibles (offertes ou révélées) entre les parties de l'espace. Pour cela, il ne faut plus voir l'espace comme un simple contenant, une pièce vide que meubleraient les activités humaines, mais bien comme une construction, une représentation des *relations* (virtuelles ou réalisées) entre différents lieux, variable selon les facilités de circulation ou l'intensité des échanges que l'on considère. Schématiquement, deux aperçus complémentaires sont utilisés pour définir la distance comme facteur structurant de l'espace géographique, dans cette conception relationnelle et aussi « relativiste » de la distance entre les lieux.

La notion de *situation géographique* appartient à la géographie « classique », elle est apparue très tôt dans l'histoire de la discipline comme une composante majeure de l'explication des inégalités de concentration des populations, de la richesse ou de certaines activités. Elle définit en quelque sorte la valeur ajoutée à une localisation par sa position, définie relativement à d'autres localisations, donc par sa plus ou moins grande *distance aux autres lieux*. L'avantage de situation consiste souvent dans une meilleure *accessibilité*, c'est-à-dire une plus petite distance à un certain nombre d'autres lieux où la richesse est produite ou circule. La situation géographique est avantageuse lorsque la topographie améliore l'accessibilité du lieu, en réduisant ses distances d'accès : ainsi explique-t-on dès le XIX^e siècle le développement des villes situées au carrefour de grandes vallées, ou au débouché maritime d'une grande voie

terrestre, comme celle des villes d'estuaire. La situation géographique est aussi jugée plus favorable lorsque les conditions de circulation sont faciles, réduisant relativement les distances, par exemple en plaine par opposition aux régions de montagne. La situation dite « de contact » est celle qui rend proches des sites de ressources complémentaires. Les gains de temps et de coûts liés au franchissement des distances, lorsqu'ils persistent assez longtemps, deviennent ainsi des composantes importantes de l'explication des concentrations et des accumulations de population et d'activités dans les territoires.

La distance entre comme un facteur décisif dans de nombreux *modèles de localisation*, qui représentent les effets des « rentes de situation », lesquels complètent ceux des rentes de fertilité ou des sites de ressource. Le modèle de localisation industrielle optimale de Weber, élaboré vers 1900, combine ainsi les *distances aux sites* de matières premières, du marché et de la main-d'œuvre, pour estimer la meilleure position possible pour une usine de production, en minimisant les coûts de transport ; le modèle des zones de spécialisation agricole de Von Thünen, mis au point dès 1826, fait de la *distance au marché urbain* et de la rente différentielle qu'elle entraîne l'explication principale des choix d'exploitation du sol.

Certains effets de la distance sont tellement systématiques qu'ils se traduisent par des configurations répétées, qui surgissent dans l'organisation de l'espace de la plupart des sociétés à différentes époques, et que l'on identifie globalement sous l'appellation de « structures centre-périphérie ». Il s'agit de formes d'espace géographique sans limites précises mais très organisées, un peu comme un champ magnétique, selon un gradient d'intensité décroissante en fonction de la distance autour d'un pôle. La mesure de la relation entre les lieux qui définit ces espaces en forme de champs est alors un flux, une quantité d'échanges, une fréquence ou intensité de relations (nombre de navetteurs entre des lieux de résidence et de travail, nombre de clients entre un centre d'offre de services et les lieux qui l'entourent, nombre d'appels téléphoniques, origines des migrants, des marchandises ou des investissements attirés par un centre). Ces configurations pourraient certes s'expliquer comme la prise en compte par la société des lois de la physique, car il s'agit d'économiser l'énergie, et donc de minimiser une dépense qui pèse alors comme une contrainte sur la dynamique des activités sociales dans l'espace. En jouant sur la similitude entre les expressions physique et anthropologique, le statisticien G.K. Zipf (1949) a d'ailleurs proposé d'appeler « loi du moindre effort » cette propension universelle à couper au plus court et à aller au plus proche, qui revient à organiser les activités et les déplacements en fonction de la distance.

Mais l'origine de ces configurations presque géométriques, généralement circulaires, est à chercher aussi ailleurs. La distance explique la forme qu'elles prennent, elle n'explique pas pourquoi et comment elles se forment. L'espace géographique produit par les sociétés est orienté (anisotrope). Certains lieux, sélectionnés comme centres, acquièrent une valeur sociale, symbolique et économique, qui en fait des foyers vers lesquels convergent des flux de personnes, d'énergie, de matériaux, d'information, issus de la périphérie. Le plus souvent, cette attraction s'explique parce que le centre exerce de diverses manières une domination, qui peut être politique, militaire, religieuse, commerciale, administrative ou symbolique (affective et cognitive), sur sa périphérie, ce qui se traduit par un *échange inégal, une asymétrie* dans le bilan des interactions entre centre et périphérie au profit du centre. Ce processus tend à renforcer l'accumulation de l'offre dans le centre, ce qui augmente aussi le degré de complexité de ses activités. Le centre rediffuse une partie des aménités, des fonctions centrales ou des innovations en direction de la périphérie, mais sans réduire totalement les inégalités. Toutefois, le maintien

de l'attractivité du centre suppose qu'il améliore au cours du temps son accessibilité et son attractivité pour sa périphérie, selon une boucle de rétroaction positive entre centralité et accessibilité (Bretagnolle 1999). La valeur des situations géographiques n'est pas immuable dans le temps.

Ce n'est donc pas l'analogie physique⁵ mais bien la pertinence de sa formule mathématique pour résumer la forme prise par les observations faites sur les interactions spatiales qui a fait le succès du *principe gravitaire* pour décrire des organisations de l'espace très fortement structurées par la distance à un centre. Les modèles de potentiel, ou encore le modèle dit « loi de Reilly » (présenté plus haut section 1.2) indiquent que la force d'attraction est proportionnelle à la masse du centre, et inversement proportionnelle à la distance qui le sépare des autres lieux considérés. On l'utilise pour délimiter des aires de marché, autour de centres commerciaux, ou des zones d'influence autour de centres urbains. Les techniques du *geomarketing* font une grande consommation de modèles gravitaires, dans lesquels les facteurs d'attraction tout comme les mesures de la distance sont évidemment modulés selon les cas analysés.

Le *modèle d'interaction spatiale* dérivé du principe gravitaire, qui représente le volume des échanges entre deux lieux comme étant proportionnel au produit des masses en présence et inversement proportionnel à la distance qui les sépare, est aussi utilisé de façon universelle pour résumer, analyser ou prévoir la géographie des flux, qu'il s'agisse de transport ou de migrations. Les champs migratoires (étudiés par exemple dès 1970 en France par Daniel Courgeau), tout comme les champs urbains (analysés à l'échelle européenne par Marianne Guérois 2003), sont décrits par des fonctions puissance ou exponentielles décroissantes de la distance, qui démontrent la prégnance et l'universalité de celle-ci dans la construction sociale et géographique des interactions.

Que les centres s'échelonnent comme des étapes sur un itinéraire ou qu'ils tendent à couvrir un territoire selon un maillage, ils émergent à une distance caractéristique des autres centres, appelée *espacement*. L'espacement est en moyenne égal au double de la *portée*, c'est-à-dire la longueur maximale du déplacement consenti par les clients pour se procurer le service considéré. La régularité de l'espacement s'explique par la quantité de population ou des activités que les centres desservent, et non pas par la simple distance physique. L'espacement moyen entre les centres augmente avec leur niveau de complexité. Il en résulte une organisation hiérarchique de la trame spatiale des centres, bien mise en évidence dans les modèles de la théorie des lieux centraux de Walter Christaller par exemple. La différenciation de l'espace en centres et en périphéries est en effet repérable à différentes échelles géographiques. L'organisation multi-scalaire caractéristique de l'exercice de la centralité et de la polarisation incite à explorer le caractère fractal des processus évolutifs qui engendrent les configurations hiérarchisées des lieux centraux et de leurs périphéries (voir chapitre 3). Les centres entrent en concurrence pour la captation des ressources de leur périphérie, et développent des innovations au cours de ce processus interactif. Le développement des innovations dépend de l'action des acteurs localisés dans le centre. Celle-ci consiste soit en une création, anticipation, et tentative d'en exploiter un profit, soit en une imitation d'une innovation ayant réussi ailleurs, ces deux

5 Le physicien géographe Alan Wilson, qui améliora considérablement la technique d'estimation du modèle d'interaction spatiale, en a donné une interprétation en termes de « maximisation de l'entropie » qu'il a ensuite reliée à la théorie statistique de l'information.

attitudes constituant une *stratégie d'adaptation*. Les innovations ainsi imposées ou imitées se diffusent parmi les centres, par proximité ou par diffusion hiérarchique (voir ci-après sections 2.2, 2.3 et 2.4). Un centre n'acquiert un niveau de centralité supérieur par accumulation et complexification de ses activités que s'il réussit à concurrencer d'autres centres en captant l'avantage initial d'un nombre suffisant d'innovations. C'est parce que ce processus s'est effectué sous la contrainte de la distance, partout où les interactions se sont produites pendant une assez longue durée en contiguïté, selon la règle de la proximité, que se sont introduites tant de régularités dans l'espace des centres urbains, du moins dans les régions du monde très anciennement peuplées.

La proximité explique que l'on détecte souvent des interdépendances dans les « paysages statistiques » représentant par des cartes géographiques les valeurs prises par toutes sortes d'indicateurs. Ces interdépendances sont mesurées par des indices d'autocorrélation des variables spatialisées dans un voisinage donné (Cliff & Ord 1973 ; Anselin 1995). L'autocorrélation est positive lorsque les effets de la diffusion spatiale ont produit des ressemblances en fonction de la proximité, elle est négative lorsque les concurrences territoriales ont sélectionné des lieux ayant tiré parti sur le long terme des asymétries dans les échanges territoriaux. Ces corrélations ont été longtemps pensées comme gênantes dans l'application des modèles statistiques de régression (souvent dits « modèles économétriques ») à des données géographiques, mais les géographes ont développé des modèles de régression spatialisés qui permettent au contraire de préciser et renforcer l'analyse de l'hétérogénéité des associations de variables dans l'espace géographique (Brundson *et al.* 1996).

Enfin, à l'ère de la mondialisation, qui se manifeste notamment par le déploiement des entreprises multinationales ouvrant des filiales dans toutes les parties du monde, ou encore par la tendance à l'emploi universel d'instruments de communication d'envergure planétaire comme Internet, les réseaux dits « sociaux » ou les smartphones, on pourrait imaginer que « la terre est plate » et que la distance ne serait plus une contrainte majeure dans l'organisation de l'espace géographique. Pourtant, il faut remarquer que la proximité continue de jouer un rôle important dans la création de nouvelles institutions internationales, qu'elles soient politiques comme l'Union européenne, ou plutôt d'ordre économique comme les zones d'entente commerciales négociées entre des pays du monde, par exemple l'ASEAN, l'ALENA ou le MERCOSUR (Mareï et Richard 2018).

2.2 L'échelle

Les géographes ont un vocabulaire contraint lorsqu'ils produisent un discours sur les échelles. Ils sont de gros réalisateurs et consommateurs de cartes, dont l'échelle est la mesure du rapport entre une distance mesurée sur la carte et la distance sur le terrain. Ils parlent donc spontanément de grande échelle (cartographique) pour des cadastres ou des plans d'urbanisme au 1/10 000^e par exemple, de moyenne échelle pour une carte routière au 1/200 000^e et de petite échelle pour une représentation du monde au 1/1 000 000^e. Mais le langage courant, et souvent celui des décideurs, conçoit plutôt que les planifications régionales ou les problèmes mondiaux sont à « grande échelle » par comparaison avec l'échelle locale qui concerne de plus petites étendues. Il vaut donc mieux trouver d'autres adjectifs pour éviter ces regrettables ambiguïtés. L'échelle est ainsi associée aux *ordres de grandeur des objets géographiques*, qui peuvent être mesurés par exemple en superficie, en population ou en richesse. L'échelle est appelée plutôt « résolution » lorsqu'elle indique un degré de précision des représentations cartographiques ou

des images satellite ou même des descriptions qualitatives, qui incluent plus ou moins de détail ou de généralisation selon que l'on se situe à grande, moyenne ou petite échelle géographique. De plus en plus, l'information géographique est présentée en référence à des coordonnées de la surface terrestre sous une forme dite « géolocalisée » qui permet de constituer par agrégation dans des carroyages (ou maillages) de différentes dimensions des filtres d'analyse qui lissent plus ou moins les hétérogénéités dans l'espace géographique. Les discours produits à partir d'informations ainsi agrégées à des échelles différentes peuvent varier sensiblement, selon le principe du MAUP (*Modifiable Areal Unit Problem*) bien étudié par Stan Openshaw (1983).

Cela n'empêche pas aussi de considérer que l'échelle en géographie représente une conception de l'organisation de l'espace en *niveaux d'organisation* plus ou moins bien distincts, qui diffèrent non seulement par leurs dimensions mais aussi par les propriétés émergentes qui les caractérisent, du fait de la complexité des interactions spatiales qui les engendrent. Ces organisations spatiales peuvent être « spontanées », auto-organisées, par exemple lorsqu'il s'agit de villes ou encore de réseaux de diasporas de groupes linguistiques ou culturels, elles peuvent aussi être dirigées par des institutions, par exemple lorsqu'il s'agit de territoires politiques ou administratifs ou de régions économiques ou de réseaux contractuels. Ces niveaux facilement repérables dans l'espace géographique sont pris en compte par les modélisations.

Un très bon exemple d'organisation « spontanée » en niveaux est donné par la distinction que font les géographes entre *la ville*, niveau de l'organisation de la vie quotidienne, et les réseaux urbains ou *systèmes de villes*, qui règlent les réseaux d'échange à plus longue portée dans les territoires régionaux et nationaux, voire continentaux ou mondiaux. *Au niveau de la ville*, plusieurs types de régularités peuvent être notés comme des « faits stylisés » caractérisant l'organisation de l'espace urbain, quelles que soient les époques et les régimes politiques ou les formes des rapports économiques. Les interactions spatiales y sont intenses car les habitants visitent en moyenne de 3 à 4 lieux différents par personne et par jour. Ces interactions sont depuis toujours contraintes par la durée de la journée de 24h, qui ne s'est pas modifiée au cours de l'histoire. La durée quotidienne totale consacrée à ces déplacements est en moyenne d'une heure (soit des distances de 3 à 4 km au temps de la marche à pied, de 30 à 40 km dans les villes motorisées). Les déplacements sont effectués à des vitesses relativement lentes (de 4km/h à 25km/h). Les fortes densités des villes et les difficultés de l'organisation des circulations expliquent qu'aient été construits de très nombreux modèles pour les transports urbains. La géographie des flux en ville a ainsi été modélisée par des modèles gravitaires, issus de la mécanique statistique, de la théorie de l'information ou de la dynamique des fluides et la percolation, avant que des modèles plus sophistiqués n'y intègrent davantage de processus sociaux (voir chapitres 2 et 3).

Mais ce ne sont pas ces interactions du quotidien qui produisent vraiment les formes urbaines, avec leurs propriétés émergentes caractéristiques de l'organisation spatiale de la centralité, contrairement à ce qu'une application simpliste des théories de la complexité pourrait laisser supposer. Même si la demande de transport produit à la longue une tension pour la construction de nouveaux réseaux, l'émergence des formes urbaines résulte de déterminations d'un autre ordre, à la fois en termes d'échelles de temps et d'espace, et en termes de processus sociaux. En effet, les formes des villes sont engendrées sur des durées beaucoup plus longues que celle du quotidien (de l'ordre de quelques décennies à quelques siècles), par des processus souvent incrémentaux, parfois planifiés en masse, de construction des bâtiments et des infrastructures de transport. La principale contrainte est ici celle de la *valeur sociale* attribuée aux localisations

plus ou moins centrales, qui s'exprime par la concurrence pour l'espace et la demande d'accessibilité, et donc par des inégalités plus ou moins fortes de capacité d'occupation par des activités et des populations diversement dotées en termes de pouvoir et de richesse. Ce sont ces processus de *concurrence* et de *distinction sociale dans l'espace géographique* qui conduisent à des configurations souvent très structurées de l'espace urbain, en général disposées selon un gradient décroissant des prix et des densités du centre vers la périphérie des villes (selon une configuration appelée « *champ urbain* », qui peut être mono ou polycentrique). Cette contrainte exercée sur les formes urbaines par l'inégale valorisation sociale de l'espace explique aussi d'autres formes émergentes de distributions spatiales, selon des géométries de type fractal des bâtiments, du réseau des rues, des espaces libres ou de différents services urbains, et des formes très variables, plus ou moins marquées mais toujours présentes, de séparation spatiale des catégories sociales des populations ou de zonage des activités.

Au niveau des systèmes de villes, d'autres propriétés émergentes caractérisent l'organisation des villes bien connectées sur la longue durée dans un même ensemble territorial : la *hiérarchie urbaine* exprime la très grande inégalité des tailles des villes, en termes de concentrations de population (de quelques milliers à quelques dizaines de millions d'habitants dans les plus grands territoires comme ceux de la Chine ou de l'Inde aujourd'hui) ou du nombre des activités urbaines et de la valeur de leur production. La *diversité fonctionnelle* traduit la présence dans une même région de villes aux fonctions différentes et complémentaires qui résultent d'un processus de spécialisation économique et sociale géographiquement différencié. Les interactions qui permettent de définir un ensemble de villes organisées en système s'effectuent avec de moins grandes fréquences que celles qui ont lieu dans une ville au quotidien. Avec beaucoup de variations, on estime à environ une journée de voyage la possibilité d'interactions suffisamment fortes pour entraîner une interdépendance dans l'évolution démographique et socio-économique des villes. Bien évidemment, les frontières nationales, linguistiques ou culturelles interviennent dans ces délimitations très approximatives, elles peuvent freiner ou réduire les interactions sans toutefois ne jamais les annuler totalement. Une caractéristique importante de ces interactions interurbaines est qu'elles opèrent désormais avec des vitesses bien plus grandes (quelques centaines de km/h) que celles des interactions internes aux villes (entre 20 et 30 km/h). Les transports rapides, le rail puis l'avion et les TGV ont au cours des deux derniers siècles relativement bien plus rapproché les villes entre elles que les autres parties des territoires.

Mais là encore ce ne sont pas ces interactions incrémentales représentées par des déplacements physiques de personnes, des échanges de biens ou même les échanges très rapides d'information entre les villes, qui expliquent la formation des hiérarchies urbaines. L'explication se situe à un autre niveau temporel, par l'accumulation de ces changements incrémentaux légèrement asymétriques ou en partie qualitativement différents, que nous résumons sous l'appellation de *processus sociaux de création et d'adoption des innovations*. Ces modalités particulières de la croissance et de la transformation des villes par l'innovation sont à la fois ce qui en résulte et ce qui les suscite. Les innovations sont des inventions socialement acceptées, de tous ordres : techniques, culturelles, politiques, organisationnelles... La théorie de la diffusion des innovations de Torsten Hägerstrand (1952) montre comment les plus grandes villes ont une plus forte probabilité d'accéder rapidement aux innovations, du fait de leur plus large diversité sociale et économique et de leurs positions plus centrales dans les réseaux de communication physiques et sociaux. Hägerstrand a donc créé un modèle de *diffusion hiérarchique* qui montre comment les innovations, notamment celles qu'il appelle les « innovations entrepreneuriales »

se propagent, parfois à très longue distance, selon la hiérarchie urbaine, en suivant à peu près une progression descendante dans la taille des villes, alors que les innovations qu'il avait observées en agriculture se propageaient dans l'espace géographique de proche en proche, selon un modèle en tache d'huile. Les observations empiriques détaillées du changement urbain sur des durées de quelques décennies ont pu confirmer ces modalités de la diffusion des innovations (Pumain et Saint-Julien 1978) sur les transformations des villes (voir ci-dessous le changement spatial section 2.4).

Ainsi, dans ces deux exemples du façonnement d'objets géographiques, à deux niveaux distincts, on comprend que la durée historique qui permet à ces objets de s'adapter aux changements intervenant dans les formes d'organisation sociale et économique est un ingrédient très important de leur genèse. Autrement dit, les raisonnements qui supposeraient une émergence « instantanée » d'un équilibre ou d'une structure avec des processus mathématiques ou informatiques synchrones ne sont pas vraiment adaptés à l'étude de la dynamique des objets géographiques. Les villes, les territoires ou les paysages terrestres sont en fait, selon la jolie formule de Philippe Pinchemel, « de la durée interrestrée ».

2.3 Concentration et accumulation : inégalités géographiques et lois d'échelle

Deux processus principaux interviennent en géographie pour différencier qualitativement et quantitativement des entités repérables et identifiables à telle ou telle échelle, ou plutôt à tel ou tel niveau d'observation. Le premier processus, qu'on peut appeler « territorialisation », produit surtout des différences qualitatives. Il induit des différenciations, à l'intérieur de frontières relativement étanches, par une sorte de « dérive génétique », qui construit des attributs spécifiques aux entités localisées à partir des interactions les plus fréquentes, internes au territoire. Ce processus peut conduire à des différences importantes avec les territoires voisins par exemple en termes de culture, de langue, de paysage, de pratiques sociales et de règles collectives, au moins tant que les frontières restent stabilisées ou que le franchissement des distances ne permet que des échanges sporadiques avec d'autres territoires. Le second processus recouvre toutes les interactions du type centre-périphérie et les asymétries de réseau qui leur sont associées (incluant éventuellement prédateurs et conquêtes) et se traduit par des *inégalités quantitatives* entre les entités géographiques. Dans un territoire donné ou entre des territoires connectés, ce processus induit des inégalités d'accumulations ou de concentrations, qui engendrent des entités géographiques de plus ou moins grande taille.

L'espace géographique n'est donc ni homogène ni isotrope. Les objets construits par les interactions sociales sont caractérisés par de fortes asymétries et hiérarchies : ainsi, les dimensions des villes et des territoires, qu'on les mesure en termes de population, de superficie, de richesse, de nombre d'entreprises, ou de divers indicateurs de notoriété, sont toujours caractérisées par des distributions statistiques très dissymétriques, comportant beaucoup de petites unités, un peu moins de moyennes et très peu de grandes. Les distributions de Pareto ou de Zipf, ou encore la loi lognormale, sont les modèles statistiques qui s'ajustent le mieux à ces très fortes inégalités. Les systèmes de villes rassemblent ainsi des objets qui bien que portant le même nom diffèrent par quatre ordre de grandeur (ou puissances de dix), regroupant de quelques milliers à quelques dizaines de millions d'habitants. Dans un espace géographique fortement connecté et soumis aux mêmes types de règles des interactions, *l'explication des inégalités entre ces objets géographiques* est donnée par des modèles de croissance de type exponentiel, selon la « loi de l'effet proportionnel » (Gibrat 1931), ou encore par des modèles

de croissance logistique, lorsque les dimensions des entités sont limitées par un certain seuil, par exemple une quantité de ressources disponibles.

Ce modèle de croissance suffit en première approximation à caractériser l'évolution des inégalités de la taille des villes sur de courts intervalles de temps, à moyen terme. Mais sur le long terme les inégalités se creusent souvent davantage, du fait des différences qualitatives associées aux inégalités de taille (Cura *et al.* 2017). Les grandes métropoles ont ainsi en général des croissances plus rapides que celles des autres villes du système dont elles sont la capitale politique ou économique. Elles le doivent non seulement au contrôle qu'elles peuvent exercer sur leur système, mais aussi aux fonctions de hubs ou de relais qu'elles jouent pour connecter leur ensemble territorial avec d'autres ensembles territoriaux (Bretagnolle et Pumain, 2010). La tendance au creusement des inégalités et à la différenciation qualitative des attributs des villes ne concerne pas que quelques villes au sommet des hiérarchies urbaines, mais imprime subtilement la distribution dans son ensemble. Ainsi, plus les villes sont grandes, et plus elles ont de grandes proportions d'activités innovantes ou d'emplois qualifiés dans leur population. On peut résumer cette observation en appliquant le modèle des lois d'échelle (*scaling laws*) qui est aussi utilisé pour d'autres systèmes complexes. Ces modèles statistiques décrivent de manière formalisée (par des fonctions puissance d'exposant variable) les relations, souvent non proportionnelles, qui s'établissent au cours du temps entre la dimension d'un objet et celle d'une de ses parties ou certaines mesures de son activité (la « croissance allométrique » étudiée au début du XXe siècle par d'Arcy Thompson). En biologie, parmi les espèces vivantes, les taux de métabolisme (consommation d'énergie par unité de masse) de celles de grande taille sont systématiquement plus faibles que ceux des espèces de petite taille et la relation entre métabolisme et taille est donc sublinéaire, avec des exposants inférieurs à 1. Ces lois sont expliquées par la structure fractale des réseaux qui distribuent l'énergie dans les entités vivantes (West *et al.* 1997). En géographie, les lois d'échelle ont des exposants supérieurs à 1 pour certains attributs urbains, notamment ceux qui caractérisent les fonctions innovantes des villes ou encore la valeur qu'elles produisent, tandis que les activités en déclin ou obsolètes ont des exposants plus faibles. Une interprétation géo-historique de ces lois d'échelle relie les concentrations urbaines aux modalités d'adoption des grandes vagues d'innovation dans les hiérarchies urbaines (Pumain *et al.* 2006). Le rôle des interactions spatiales interurbaines dans les trajectoires d'évolution des populations des villes a été confirmé par une expérimentation d'un modèle de simulation sur le cas des villes de l'espace soviétique (Cottineau 2014 ; et voir chapitre 4). La théorie mathématique des lois d'échelle, appliquée aux systèmes urbains par Bettencourt *et al.* (2007), montre que les activités qui bénéficient du rôle d'incubateur social des villes sont nécessairement hiérarchisées. Selon J. Raimbault (2019), les hiérarchies, que ce soit au sens de l'imbrication de multiples niveaux ou échelles, ou de distributions statistiques à grande queue, seraient endogènes aux systèmes territoriaux complexes. (Maints exemples de ce type d'organisation socio-spatiale sont présentés dans le chapitre 3).

Contrairement aux théories économiques classiques qui prévoient à terme la convergence (l'égalisation) des niveaux de satisfaction ou de productivité entre régions, la théorie géographique de la diffusion prévoit aussi bien le maintien, que le rattrapage ou l'accentuation des inégalités antérieures. La capacité à exploiter les avantages liés à une adoption précoce de l'innovation dépend souvent de l'accumulation antérieure (capital) et de la complexification sociale (capital humain) de l'entité géographique collective, mais elle peut aussi surgir en certains lieux du fait de l'intervention d'acteurs « individuels ». Qu'elle s'effectue par contagion ou hiérarchiquement, la diffusion ne produit pas les mêmes effets sur les

localisations, selon le moment où elle intervient dans la trajectoire des lieux, et aussi selon les différences d'état entre les lieux ainsi mis en relation. La colonisation par les pays européens de nombreux territoires de toutes les parties du monde, qui a mis en contact puis en interaction forte des pays disposant de niveaux de ressources et de puissance très inégaux, a creusé des inégalités durables entre les pays du « Tiers Monde » ou pays en développement. La complexité de ces coévolutions s'exprime cependant par le fait que ces inégalités et les évolutions qui les engendrent sont susceptibles de retournements, de bifurcations dans leurs dynamiques. Le cas de la Chine est représentatif de cette non stationnarité des situations géographiques relatives, son niveau technologique était le plus avancé à l'époque de la Renaissance européenne, puis sa position relative a décliné jusqu'à la fin du XXe siècle avant de remonter à un niveau de deuxième grande puissance mondiale. Il serait intéressant de pouvoir modéliser l'évolution des inégalités entre les territoires du monde sur la longue durée, car elle s'est traduite par de nombreuses inversions dans les positions des principales concentrations de richesse et de pouvoir. Pour les périodes les plus anciennes, les inégales dotations en ressources disponibles pour la révolution agricole du néolithique semblent donner une explication d'ordre écologique à la formation des inégalités territoriales antiques (Diamond, 1997) mais la suite de l'histoire montre que les interférences entre processus de territorialisation et d'accumulation-concentration sont devenues beaucoup plus complexes, en faisant jouer des interactions spatiales à plus longue distance, jusqu'à la mondialisation contemporaine. La domination sociale et politique, couplée aux inégalités de richesse économique, a produit et reproduit des configurations en centre et en périphérie qui se sont échangées ou redistribuées différemment à la surface du globe tout au long de l'histoire des sociétés.

2.4 Changement spatial et dépendance à la trajectoire

La longévité des constructions géographiques est souvent une surprise pour les observateurs. La persistance des hiérarchies urbaines peut se mesurer en siècles, celle des spécialisations fonctionnelles des villes, et surtout des caractéristiques sociales qui leur sont associées, dépasse souvent quelques décennies. Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, la décision des Nations Unies de ne pas autoriser de conquêtes territoriales et de redécoupage des Etats a contribué aussi à faire perdurer tant bien que mal le découpage des entités territoriales à ce niveau, ce qui n'a pas totalement évité des conflits et quelques redécoupages ou annexions. Un changement de régime politique peut cependant s'accompagner de modifications territoriales pour des circonscriptions plus fines : ainsi, à l'échelon infranational, des réorganisations des découpages administratifs sont intervenues dans les pays d'Europe de l'Est après la chute du Mur de Berlin (Maurel 2004). Parfois, c'est l'évolution des entités géographiques elles-mêmes, comme les villes en expansion démographique et spatiale, qui détermine une réorganisation des délimitations pour la gestion politique des territoires (comme l'organisation des aires urbaines en communautés de communes ou d'agglomération). Mais en général les frontières tracées bougent peu, ou très lentement, et on les retrouve parfois longtemps après leur disparition officielle sous forme de « frontières fantômes » (von Hirschhausen 2017).

Ces persistances sont souvent interprétées comme une « inertie » de l'espace géographique, dont les formes indurées matériellement dans l'habitat, dans les réseaux, mais aussi culturellement par des institutions, dans la durée parfois longue des procédures de l'aménagement et des planifications territoriales, feraient preuve d'« inertie » et s'opposeraient à la fluidité du changement social. En fait, l'observation attentive des villes et des territoires démontre au contraire leurs formidables capacités d'adaptation. Par de-là l'apparente fixité des constructions, des infrastructures, des frontières et des nomenclatures, les personnes qui

habitent ces villes et ces territoires se renouvellent rapidement (migrations et passage des générations), leurs usages et leurs pratiques se modifient encore plus vite. La matière sociale des territoires et les représentations individuelles et collectives qui y sont associées (« le cœur des hommes ») changent plus vite que leur forme, selon la belle expression de l'écrivain géographe Julien Gracq à propos de la ville de Nantes.

La figure 1 donne une représentation simple, à la fois de la persistance de l'organisation spatiale des formes territoriales des systèmes de villes et de la cohérence de ces formes à travers les échelles de l'espace géographique. Céline Rozenblat (1995) a eu l'idée de relier les villes européennes (délimitées selon une définition harmonisée d'agglomérations morphologiques) de plus de 10 000 habitants par un segment en faisant varier sa longueur, moins de 25km sur une première carte (figure 1A), puis 25 à 50 km (figure 1B), enfin entre 150 et 200 km pour seulement les villes dix fois plus grandes (plus de 100 000 habitants) (figure 1C). Le résultat, spectaculaire, montre sur chacune des cartes les mêmes grands ensembles territoriaux. A l'ouest, l'urbanisation de la France et de l'Espagne, territoires où la centralisation précoce dans de grands royaumes a créé de fortes concentrations, montre des distributions spatiales très contrastées. Au centre, une écharpe dense de villes plus rapprochées caractérise les états (Allemagne et Italie) dont l'unité nationale, intervenue plus tardivement, a laissé longtemps se développer en compétition des villes rivales, capitales de principautés ou d'évêchés. (L'Angleterre, pourtant précocement centralisée, appartient à cette diagonale du fait de l'intensité de sa révolution industrielle qui au XIXe siècle a comblé le vide urbain au centre du pays par la création de villes assez grandes). A l'est, les villes sont espacées bien plus régulièrement, ces régions ayant été urbanisées plus tardivement mais assez systématiquement colonisées entre les XIIIe et XVIIe siècles, souvent par des congrégations religieuses. Cette représentation toute simple témoigne de la force et de la durabilité de l'inscription dans l'espace des structures socio-politiques établies dans les interactions urbaines et de la solide cohérence des organisations spatiales multi-scalaires qui en résultent⁶. Une propriété assez générale observée dans les systèmes complexes, la fractalité, caractérise l'organisation hiérarchique et spatiale des villes et des systèmes de villes (Tannier 2009 et chapitre 3). Mais les conditions particulières de l'évolution des systèmes sociaux politiques et territoriaux se manifestent dans une forte « dépendance à la trajectoire » (*path dependence*, que je propose aussi de traduire par « enchaînement historique ») et déclinent cette fractalité en trois styles de configuration du peuplement, à l'Ouest, au centre et à l'Est de l'Europe, qui persistent dans le temps de l'histoire, bien au-delà des conditions qui ont prévalu dans leur installation. Ces régularités de la dynamique des villes et de leurs transformations socio-économiques évoquées ci-dessus sont intégrées dans une « théorie évolutive des villes » (Pumain 1997). La théorie a servi de base à un important travail collectif de modélisation sous forme de modèles de simulation multi-agents qui sont présentés dans plusieurs chapitres de cet ouvrage (notamment 4 et 5).

⁶ Selon une approche similaire, en faisant varier systématiquement les seuils de distance au sein d'un pays et par percolation sur le réseau de routes, E. Arcaute *et al.* (2016) identifient les structures régionales, urbaines et locales de l'organisation spatiale de la Grande-Bretagne, ainsi que leur emboîtement successif.

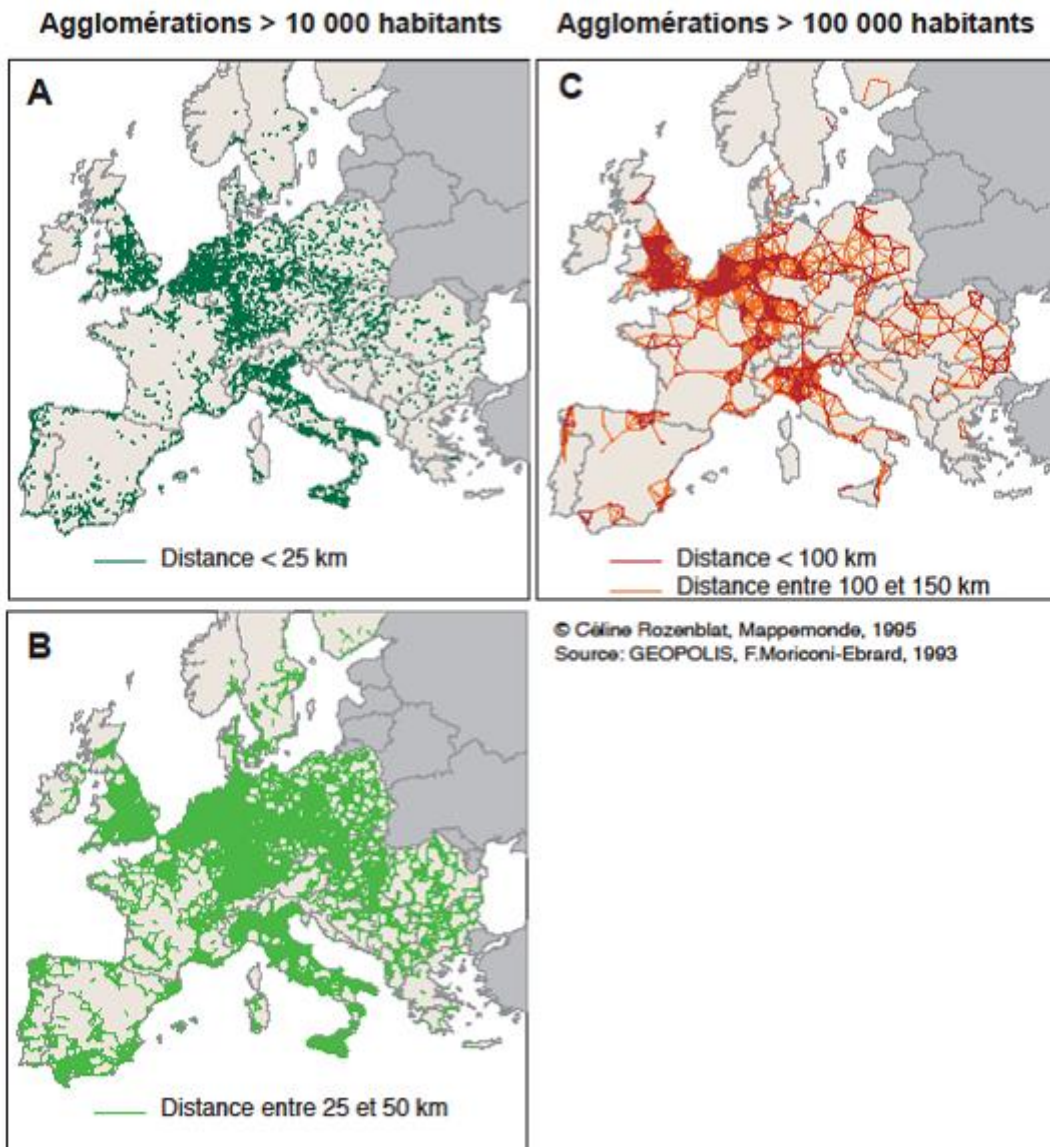


Figure 1 : Trois styles de peuplement en Europe

Le processus du changement dans l'espace géographique est étroitement lié à son fonctionnement. Celui-ci est issu d'un effort continu d'adaptation réciproque par les multiples acteurs qui interviennent dans l'espace social. Le changement produit un nombre très considérable de petits mouvements et de transformations locales dont la plupart s'annulent statistiquement et n'ont pratiquement pas d'effet apparent sur les configurations spatiales. On peut prendre pour exemple le très faible effet des migrations résidentielles sur la transformation des inégalités territoriales en termes de concentrations de population. Contrairement à une représentation simpliste qui verrait l'attraction migratoire comme un mouvement à sens unique, on sait au moins depuis Ravenstein (1885) que les échanges se font toujours dans les deux sens, avec un volume presque égal. Il en résulte que la balance nette de ces mouvements, le solde migratoire, ne représente souvent que moins de 1 ou 2% du volume des populations qui se sont déplacées (Baccaïni 2007). Les représentations médiatiques qui anticipent des « invasions » par les migrants internationaux relèvent du mythe idéologique. Plus encore, les compositions

sociales des déplacements observés entre régions ou départements sont très semblables entre les flux d'entrée et de sortie. Les flux d'investissement étrangers dans les établissements industriels confortent les spécialités existantes bien plus qu'ils ne les modifient (Finance 2016). En fait, la compréhension de ce contraste entre des processus micro-géographiques extrêmement volatils et des structures spatiales d'apparence bien plus stables est désormais comprise comme résultant d'une dynamique de système complexe.

Ce caractère fluctuant du changement géographique ne produit le plus souvent que des effets incrémentaux. Lorsqu'il est couplé à un fort effet de la proximité, traduit par des autocorrélations spatiales, il peut expliquer le grand succès en géographie de la modélisation au moyen des automates cellulaires. Des règles de transition locales relativement simples entre les états des cellules d'un carroyage représentant l'utilisation du sol sont ainsi mises en œuvre pour représenter les transformations et éventuellement les anticiper (Engelen *et al.* 1995 ; White *et al.* 2015). Toutefois, lorsqu'il est utile de prendre en considération des formes d'interaction spatiales qui ne relèvent pas que des effets de proximité et qui sont plus diverses, dans le dessin et la portée de leurs réseaux, les systèmes multi-agents sont des instruments de plus en plus pratiqués, par exemple pour simuler la diffusion des innovations (Daudé 2004) ou encore les trajectoires des villes dans les systèmes de villes et les territoires (Sanders *et al.* 2007).

2.5 Dérives territoriales, compression espace-temps et mondialisation

Dans la longue histoire de l'espèce humaine, les effets prolongés de la distance entre des groupes isolés se sont traduits de façon paradoxale par des « dérives » territoriales. On désigne ainsi un processus que les généticiens observent en termes de modifications progressives des patrimoines génétiques, et qui sur le plan social crée des différences importantes entre les langues, les cultures, les noms, voire les signes visibles sur lesquels ont été fondées plus tard les notions de race et d'ethnie⁷. Alors que la « distance génétique » entre les groupes humains reste relativement faible, du fait de leur origine commune et des durées en jeu dans l'évolution biologique, ces caractères sociaux qui évoluent beaucoup plus vite peuvent avoir divergé très considérablement, au point qu'ils ont été parfois érigés comme des barrières culturelles et conflictuelles entre les peuples.

A cet égard, la révolution des transports du milieu du XIXe siècle représente vraiment une bifurcation dans l'histoire du monde, du point de vue de la spatialité des sociétés, dans la mesure où ses conséquences n'ont pas été seulement de déplacer le centre du monde (comme cela fut le cas à maintes reprises depuis l'ère néolithique, par exemple à l'occasion du basculement du centre de l'Europe de la Méditerranée vers la Mer du nord au XVIe siècle si bien décrit par Fernand Braudel). Les changements auxquels nous pensons sont beaucoup plus généraux, ils ont affecté à des degrés divers toutes les parties du monde et toutes les relations dans le monde, ainsi que les représentations que nous en avons. Il faut en effet avoir conscience de l'extraordinaire distorsion qui s'est introduite entre la distance « physique », mesurée en km sur les cartes topographiques, et la distance mesurée par le temps nécessaire au parcours, du fait de l'accroissement de la vitesse des transports liée à la mécanisation. La révolution des transports a littéralement créé des types d'entités géographiques et des niveaux d'échelle qui n'existaient

7 L'ouvrage de F. Cavalli-Sforza (1984) donne des images fascinantes de l'effet des migrations anciennes, très contraintes par la distance, sur la différenciation actuelle des signes génétiques secondaires entre les régions d'Europe

pas auparavant. Le géographe américain Donald Janelle (1969) a proposé les expressions de « *compression de l'espace-temps* » et de « *réorganisation spatiale* » pour catégoriser ces processus. Nous avons là un exemple de modification quantitative qui conduit à de très importants changements qualitatifs. Plus récemment, l'accélération considérable de la vitesse des transactions financières, qui a pris de court les régulateurs internationaux, a provoqué des crises économiques d'amplitude mondiale dont on mesure encore mal les effets à plus long terme. On peut considérer aussi que l'accélération du développement économique au cours du XXe siècle (plus encore que la croissance démographique qui tend à s'autoréguler), en induisant le changement climatique et la perte de biodiversité, puisse engendrer d'autres bifurcations majeures. Beaucoup de personnes jugent nécessaire une intervention corrective à ces bouleversements induits par les activités humaines (ayant conduit à nommer une nouvelle ère géologique dite « Anthropocène ») en préconisant une « transition écologique ». Les 19 objectifs et les 169 cibles du développement durable préconisés par les Nations Unies sont une première étape importante de cette tentative de régulation. Il est probable que l'accélération des communications sociales via les réseaux portés par Internet induise également de profondes modifications dans les pratiques et les représentations. Il est encore difficile de déterminer si tous ces bouleversements engendreront de nouvelles transformations dans les configurations territoriales et dans notre manière d'habiter la terre. Les modèles de simulation de divers scénarios peuvent aider à penser les modalités de ces futurs possibles.

Pendant des siècles, voire des millénaires, toute l'organisation des activités humaines à la surface de la terre s'est faite dans un espace-temps réglé par de faibles vitesses de circulation. Dans ce système spatial soumis à la « tyrannie de la distance », on avait donc des entités géographiques de la vie quotidienne qui étaient définies comme de petites régions en contiguïté, qui regroupaient des lieux connectés par des interactions fortes, mais de faible portée. Pour autant, il ne faut pas négliger le rôle de ces relations à vitesse lente dans la construction d'interactions de portées bien plus longues. Des entités géographiques ont pu se former à des niveaux d'échelle supérieurs (par exemple les empires d'Asie centrale, bien étudiés par P. Frankopan, 2017), du fait de la lente propagation des informations et des innovations (par exemple la diffusion du bouddhisme, de la chrétienté ou de l'islam, celle des innovations techniques voire des formes politiques du monde préindustriel). Des réseaux d'échange se sont établis parfois sur des durées très longues (on peut penser à l'antique route de la soie, au rôle de Venise dans l'intégration du commerce méditerranéen du XIIIe au XVe siècle, ou encore aux villes de la Hanse dans le nord de l'Europe) tout autant que dans les entreprises guerrières et les stratégies matrimoniales et diplomatiques de conquête, de domination ou d'intégration. Ces relations de faible vitesse mais à longue portée ont produit des entités politiques et des réseaux économiques de bien plus grande dimension que les territoires de la vie quotidienne, définis à un niveau d'échelle plus élémentaire, et rythmés par la vie des champs ou la formation des marchés agricoles.

Il reste que, à partir du début du XIXe siècle, de façon très soudaine à l'échelle des temps historiques, l'obstacle créé par la distance s'est considérablement réduit. On voit ici l'intérêt de considérer la distance socialement significative, celle qui règle l'intensité et la fréquence des interactions sociales, et qui s'exprime en unités de coût du transport, ou de temps sacrifié au déplacement, ou de possibilités d'accès à l'information. Seule cette distance permet de comprendre les structures de l'espace géographique envisagé comme un espace de relations sociales, ou produit par les interactions sociales.

La compression de l'espace-temps a des effets trop peu connus du grand public sur l'organisation spatiale des systèmes de villes. Du fait des ajustements répétés de tous les déplacements, l'accroissement des vitesses élargit la portée, le rayonnement spatial des centres, qui peuvent capter désormais une clientèle plus éloignée. Celle-ci trouve d'ailleurs davantage à fréquenter un plus grand centre, mieux pourvu. Ainsi, les populations françaises motorisées ont pris l'habitude dans la seconde moitié du XXe siècle de fréquenter pour leurs recours à des services bien davantage les capitales régionales que les chefs-lieux de départements prévus au temps de la Révolution française pour être situés à portée des habitants. Il s'ensuit une tendance au renforcement des inégalités entre les centres, une « simplification par le bas » des hiérarchies urbaines. Quand cette simplification par le bas se produit en période d'urbanisation des populations, de croissance de la population et du niveau de vie, qui conduit à créer un peu partout de nouvelles fonctions et des emplois, même dans les plus petits centres, cette diminution du poids des petits centres n'est perceptible que de manière relative (ils croissent moins vite que les grands). Mais il n'en va plus de même lorsqu'il n'y a plus de réserve de population rurale pour les alimenter ou lorsque l'enrichissement plus lent ne permet plus de les équiper encore. Alors, villes petites et moyennes sont menacées, leur probabilité de développement s'affaiblit en moyenne, même si les élus locaux refusent d'admettre ce destin (Baron *et al.* 2010). Bien des interrogations au sujet des « *shrinking cities* » ont parfois négligé cette tendance spatiale lourde dans leurs schémas explicatifs. Bien évidemment, la tendance n'est encore guère perceptible dans les pays émergents en raison de la forte croissance démographique et de l'exode rural qui s'y poursuivent mais il est probable que les processus énoncés ci-dessus, renforcés par la financiarisation du développement urbain, finiront à terme par y produire des effets similaires.

La reprise de croissance des villes petites et moyennes redevient plus probable si elles se trouvent « rapprochées », toujours par la contraction de l'espace-temps, d'un centre encore en expansion. Le concept géographique de la contraction de l'espace-temps nous invite à une autre lecture du développement urbain, et des « théories » récurrentes d'une « contre-urbanisation » (Berry 1976 ; Van den Berg *et al.* 1982 ; Champion *et al.* 2004). Y aurait-il un déclin contemporain des centres des villes, au profit des périphéries urbaines ? Le « renouveau des communes rurales » est-il à l'ordre du jour ? L'émergence des villes satellites, les « *edge cities* » va-t-elle à l'encontre de la théorie du renforcement tendanciel des centres ? En fait, dans un espace support immuable, qui serait figuré par exemple par un cercle de 30 kilomètres de rayon, la croissance d'une ville moyenne isolée semble se propager de façon ondulatoire du centre vers la périphérie rurale. Mais si l'on imagine un espace-temps, représenté par un cercle ou une figure en doigts de gant de quelque 45 minutes autour du centre (donc avec une surface en expansion dans l'espace support), alors il est probable qu'on observe une dichotomie plus permanente entre un centre, un espace urbain en croissance, et une périphérie rurale en déclin – avec bien entendu les fluctuations de court terme qui caractérisent les processus de la croissance et de l'adaptation territoriale.

D'une façon plus générale, le remplacement du concept d'espace topographique, où les distances se mesurent en termes d'écart physique, par un concept d'espace géographique, relatif, en évolution, parce que construit par les relations entre les lieux, mesurées dans des termes sociaux de coût (pour les longs parcours surtout) et de temps (pour les distances plus faibles), est un changement nécessaire des représentations dominantes, qui peut conduire à une meilleure appréciation des permanences et des transformations des entités géographiques. Par exemple, on interprète le plus souvent le processus contemporain de ré-émergence des « pays »

comme exprimant un repli sur des espaces locaux plus restreints que le cadre régional, qui serait jugé trop vaste pour l'animation du développement. A la lumière de l'augmentation de la portée spatiale des interactions, ce processus pourrait tout aussi bien s'interpréter comme une extension : en termes de possibilités d'interactions sociales, le « pays » d'aujourd'hui serait l'équivalent du village ou de la commune d'autrefois. De même, les « fragmentations » en Etats plus petits observées dans certaines régions du monde pourraient aussi bien être lues comme correspondant à la formation d'interactions nouvelles, à des échelons géographiques jusque-là ignorés par les processus d'intégration spatiale agissant dans le cadre des grands Etats démembrés (Pumain 1997).

Conclusion

De ces conceptions de la complexité propres à la géographie résultent des pratiques de la modélisation qui sont pour partie spécifiques de la discipline. Elles sont détaillées dans les chapitres suivants de cet ouvrage. La modélisation en géographie est assez souvent multi-échelles dans son principe, en se donnant la liberté de définir ses « agents », non pas toujours comme des personnes ou des acteurs individuels, mais aussi comme des collectifs, des entités géographiques d'importance variable. Ces représentations par l'informatique ou la formalisation mathématique s'effectuent ainsi à plusieurs niveaux, micro, meso ou macro-géographique. Le choix de leurs attributs est très lié à l'échelle des entités, aux choix épistémologiques et aux questions posées (voir chapitre 2). La modélisation des géographes emploie des faits stylisés extraits d'observations empiriques plus souvent que des modèles entièrement logico-déductifs. Du fait de la « géolocalisation » des données employées, des méthodes spécifiques sont mises en œuvre dans le couplage des modèles avec des systèmes d'information géographique (SIG) et par le déploiement de méthodes d'analyse spatiale adaptées.

Parmi les nombreuses définitions de la complexité, «le nombre d'interprétations non équivalentes qu'un observateur peut se faire d'un système » (Livet 1983) nous semble approprié pour les systèmes qu'étudient les sciences humaines et sociales. En effet, chaque discipline : psychologie, sociologie, économie, etc... produit ses propres représentations et interprétations de processus complexes, et ce sont ces interprétations qu'il faut articuler pour tenter de rendre compte des objets et des processus sociaux. La contribution de la géographie à la construction de cette connaissance concerne principalement la dimension spatiale. Elle propose une interprétation de la diversité planétaire et mondiale, à partir de ses origines « naturelle » et socialement construite, en spécifiant les processus de l'exploitation des ressources et des inégalités dans des interactions géolocalisées à plusieurs niveaux d'observation. La géodiversité qui en résulte constitue peut-être le moteur historiquement le plus sûr du changement social, en incitant d'abord à aller voir ailleurs, puis à mettre en réseau, en suscitant toujours l'émulation, même si prévaut souvent la prédation. Les modèles dynamiques actuels permettent désormais d'expliquer la diversité des objets géographiques (territoires, villes, régions, réseaux, systèmes de villes) non plus par l'aboutissement d'un récit biographique mais comme l'une des issues possibles d'un ensemble de processus interactifs complexes. Il ne s'agit pas de remplacer des processus géographiques (écologiques et socio-spatiaux) par des processus explicatifs qui seraient pertinents pour d'autres systèmes, mais bien de proposer une explication des évolutions observées qui relève pour une part (qu'il s'agit de déterminer) de dynamiques évolutives plus générales, communes à un certain nombre de systèmes, et que l'on peut abstraire dans des modèles, mathématiques ou informatiques.

Nous verrons dans les autres chapitres de cet ouvrage comment sont surmontées les difficultés inhérentes à l'introduction de plus de deux niveaux d'échelle de temps et d'espace dans les modèles, à la prise en compte de l'hétérogénéité des agents et de la variabilité des comportements dans les modèles, et à la représentation de la compression du temps dans les processus d'émergence.