

# 2

## Échelles en géographie

La géographie utilise abondamment le concept d'échelle qui possède plusieurs significations. En effet, « les notions d'échelle et de changements d'échelle sont au centre de beaucoup de préoccupations : on cherche à prendre en compte les relations ou interactions entre des entités relatives à des échelles différentes. L'analyse ou la modélisation de ces interactions est devenue pour toute discipline une nécessité » (Mathian et Piron, 2001, p. 61). Toutefois, avant de développer davantage le sujet, il est bon de rappeler qu'il s'agit d'une préoccupation récente. En effet, « dans la géographie française de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, et sous réserve d'inventaire, le terme d'échelle semble réservé à la cartographie » (Robic, 2002). Le glissement d'une notion marginale à une notion centrale s'est réalisé dans le courant du XX<sup>e</sup> siècle, avec notamment l'avènement de la Nouvelle géographie (Brunet, 1968), et de l'analyse spatiale (Lacoste, 1976 ; Marceau, 1999). Autour du terme « échelle » gravite des concepts prospectifs comme « résolution », « niveau » ou encore « échelon ».

### 2.1. Échelle, résolution et niveau

Le terme « échelle » vient du latin *scala* qui signifie échelle dans le sens de l'outil servant à grimper, ainsi que du terme *scalare* qui signifie escalier. En français, ces termes ont donné le terme « scalaire » qui fut essentiellement repris en mathématique pour désigner un nombre réel ou complexe quelconque. Par exemple, on appelle produit scalaire de deux vecteurs, l'opération qui associe les coordonnées de ces vecteurs pour donner un nombre, un scalaire. De plus, en physique, on distingue le champ scalaire du champ vectoriel. Le champ scalaire correspond à un « champ de nombres », à un vecteur ayant une composante, tandis qu'un champ vectoriel est un vecteur ayant plusieurs composantes. En géographie, « scalaire » correspond à un adjectif épithète renvoyant au terme « échelle ». Pour finir, aujourd'hui, utilisée au sens figuré, l'échelle en géographie est devenue une notion très générale qui est synonyme d'ordre de grandeur.

### 2.1.1. L'échelle en géographie

En géographie, l'échelle recouvre deux réalités : l'une est quantitative, l'autre qualitative. La notion quantitative correspond à un rapport entre la mesure d'une distance sur une carte et la mesure d'une distance sur le terrain (Baudelle et Regnault, 2004, p. 8). Il s'agit donc d'un simple rapport homothétique. Cependant, l'échelle est aussi pour le géographe une notion qualitative qui fut introduite par Yves Lacoste, dans son célèbre ouvrage de 1976, *La géographie, ça sert d'abord à faire la guerre*. Il inventa un nouveau type de raisonnement en géographie fondé sur l'articulation des échelles entre elles pour étudier un territoire. En reprenant la racine latine, il le baptisa : approche multi-scalaire (qui signifie littéralement « plusieurs échelles ») consistant à expliquer l'état (social, économique, *etc.*) d'un territoire par l'emboîtement des échelles. Il partait d'un postulat, basique aujourd'hui, qu'une localisation n'avait pas les mêmes intérêts géopolitiques en fonction du niveau administratif et politique. Depuis, c'est surtout cette analyse qui fut mise en œuvre par les géographes.

Depuis, la notion d'échelle s'est complexifiée. L'approche la plus simple est sans doute celle de l'écologue Jérôme Mathieu (2007) qui rappelle qu'il existe plusieurs types d'échelles : l'échelle d'observation, l'échelle des processus spatiaux et l'échelle des niveaux d'organisation. L'échelle d'observation est fondamentale, car elle précise la qualité de l'information des structures spatiales étudiées (Piron, 1992 ; Piron, 1993). Il faut évidemment que cette échelle soit en adéquation avec l'objet étudié. Autrement dit, il est nécessaire que l'instrument de mesure (ou l'outil d'observation) soit adapté (Marceau, 1999). Par exemple, mesurer une salle de cours en parsec ou en angström n'a aucun sens. Autrement dit, lorsque l'on analyse une mesure, tous nos résultats dépendent souvent de l'échelle d'observation (Mandelbrot, 1977 ; Nottale, 1993), car l'information même d'une structure dépend de la résolution : « il faut choisir une échelle de description » (Delahaye, 1999, p. 23). Une fois l'échelle d'observation fixée, il faut définir la ou les échelles du ou des processus spatiaux. Pour ce, il faut fixer une étendue c'est-à-dire la limite d'une zone d'étude. Cela permet de fixer une résolution qui n'est pas une échelle géographique au sens de la cartographie. La résolution est la limite du mesurable. Ainsi, la limite des mesures effectuées sur une carte papier est le rapport entre le millimètre (une règle fournit rarement une mesure en deçà) et l'échelle cartographique.

Avant de poursuivre, il est bon de rappeler que c'est la résolution qui commande la définition des petites et grandes échelles en géographie. À savoir que, plus une résolution est fine (par rapport à l'objet étudié), plus l'échelle est grande. *A contrario*, plus une résolution est grossière (par rapport à l'objet étudié), plus l'échelle est petite. Cette originalité de la géographie est toujours bonne à rappeler, car, pour toutes les autres disciplines, l'échelle reste une question de taille. Généralement, la taille servant de référence est la taille humaine (Volvey, 2005, p. 18). Plus la taille est grande (par rapport à un être humain), plus l'échelle est grande. De même, plus la taille est petite (par rapport à un être humain), plus l'échelle est petite. Cette ambiguïté entre la résolution et la taille marque bien l'extrême difficulté de définir le terme « échelle ». Toutefois, l'étendue (ou encore la « fenêtre ») et la résolution doivent pouvoir fournir une sorte de compromis : une haute résolution ne peut qu'avoir une faible étendue, et vice-versa. Dans l'étude de la ville d'Avignon, la grande étendue et la grande résolution (1 pixel pour 1 × 1 m) aboutit à une saturation de

la mémoire d'un ordinateur, ce qui nécessite des partitions de cette image (cf. chapitre 8). Enfin, l'échelle des niveaux d'organisation permet d'expliquer l'émergence spatiale des objets géographiques. Il existe des objets à une résolution de 1 / 100 m comme les villes qui n'ont pas du tout la même morphologie à 1 / 25 000 m, et surtout, si l'on conserve la même étendue, elles n'ont pas du tout le même environnement. Pourtant, c'est le même objet géographique. L'échelle a donc des propriétés émergentes que l'on nomme niveau, celles-ci permettant de faire apparaître de nouvelles limites. Le niveau possède un terme qui lui est presque synonyme : l'échelon lorsqu'il s'agit d'un territoire issu d'une structure politico-administrative. Comme le rappelle Roger Brunet (Brunet *et alii*, 1992, p. 176), l'échelon correspond au barreau d'une échelle. Par extension, un échelon définit un niveau d'analyse, c'est-à-dire un palier dans une hiérarchie (Brunet *et alii*, 1992, p. 349). Autrement dit, niveau et échelon correspondent aux aspects structurels de la notion d'échelle. En règle générale, le niveau renvoie à une étude mono-scalaire car il correspond à l'échelle d'étude idéale de l'objet géographique étudié. « Chaque unité géographique associe, à un niveau donné ayant sa propre logique, des acteurs et leur stratégie, spécifique à la fois d'une formation sociale et d'une dimension spatiale et temporelle, particulière » (Bouzat, 1990, p. 66). Elle devient alors son échelle privilégiée, ce que déplore d'ailleurs Marie Piron : « très souvent, l'information traitée en géographie est observée à une échelle [On considère l'échelle comme le niveau d'analyse utilisé pour le traitement des données] qui correspond à un certain niveau d'agrégation spatial » (Piron, 1993).

Pour remédier à ce constat, Marie Piron mit en œuvre ce qu'elle appelle « l'analyse des systèmes en échelles ». Marie Piron avait parfaitement compris ce qui bloquait le développement quantitatif de l'approche multi-scalaire, à savoir que « le processus d'agrégation transforme l'information puisque celle-ci est analysée non plus suivant l'unité élémentaire d'observation, mais suivant une unité spatiale définissant le niveau d'agrégation géographique » (Piron, 1993). Autrement dit, selon elle, il existe un « système d'échelles » qui est « défini par un ensemble de niveaux d'analyse, de données descriptives de ces niveaux et de relations entre eux » (Piron, 1993). Certains sceptiques diraient, « Et alors ? C'est normal et trivial ! ». En fait, le système d'échelle d'un objet est une donnée fondamentale. Le choix de tel ou tel niveau permet de masquer des informations présentes au niveau précédent ou suivant. Cela revient à nier qu'il existe une relation entre les niveaux d'étude. C'est donc une approche contraire à ce qui était annoncé dans une approche multi-scalaire. Marie Piron développa un modèle de comparaison entre les niveaux d'observation de données de la ville d'Ouagadougou à partir d'une analyse multivariée effectuée à chacun de ces niveaux d'analyse. Ce faisant, elle compara les gains et les pertes d'informations entre ces niveaux. Enfin, il existerait des objets qui restent constamment apparents quel que soit le niveau choisi. Ce type d'objet fut appelé « transcalaire » par Claude Raffestin. Ainsi, un phénomène transcalaire « intéresse toutes les échelles géographiques » (2001).

Pour conclure, « travailler simultanément sur plusieurs échelles permet de décider du niveau d'analyse pertinent pour un phénomène donné et de saisir l'influence des mêmes facteurs sur des niveaux différents. Cela nous conduit à réfléchir parallèlement à la pertinence des découpages géographiques presque toujours arbitraires servant de base à la stratification et à la cartographie » (Piron, 1993). Toutefois, l'étude de la relation entre les niveaux revient à poser deux nouvelles questions. (1) Pourquoi et comment les différents niveaux se réorganisent-ils ? (2) Pourquoi et comment les différents niveaux se simplifient-ils ou se complexifient-ils ? Autrement dit, ce type d'analyse renvoie au concept d'émergence, ce que l'on peut définir comme une « apparition inattendue et soudaine (dans une série d'événements ou d'idées) » (Mayet, 2005, p. 5). En effet, généralement, cette rupture peut s'expliquer si l'on change de niveau, en allant vers la petite ou la grande échelle (Petitot, 2004). De plus, l'émergence peut engendrer de l'ordre ou de la simplification. Cette réorganisation apparente est un phénomène appelé auto organisation qui correspond à « l'apparition spontanée d'une forme ou d'une structure qui ne résulte pas d'un programme codé comme un algorithme (Sapoval, 1997, p. 166).

### 2.1.2. Échelles et géométrie fractale

À partir de là, entre en scène la géométrie fractale (cf. chapitre 4). En effet, l'idée de « système d'échelle » de Marie Piron n'est rien d'autre que la définition triviale de cette géométrie : « le processus de l'analyse du système d'échelles revient à faire des « allers-retours » entre les niveaux pour comprendre les mécanismes d'organisation d'un espace » (Piron, 1993), c'est-à-dire étudier la relation entre ces niveaux. De plus, la géométrie fractale répond aux quatre questions sans réponses de Marie Piron, à savoir : (1) « quel est l'effet du découpage géographique sur la perception d'un phénomène donné, autrement dit quel niveau d'analyse choisir et quelles sont les conséquences de ce choix ? (2) À quel niveau une variable perd-elle son pouvoir de discrimination ? (3) Trouve-t-on les mêmes éléments d'organisation aux différentes échelles ? (4) Quelle est la nature de l'hétérogénéité interne des unités spatiales ? » (Piron, 1993) L'application de la géométrie fractale dans différents domaines de la géographie physique et humaine à la fin des années 1980 a permis de renouveler la question des échelles. Cette géométrie fractale fut inventée par le mathématicien Benoît Mandelbrot (1975). Il s'agit d'une nouvelle approche mathématique consistant à analyser les résolutions. Il avait donc besoin d'inventer de nouveaux mots pour qualifier des objets qui se développent dans les échelles. Il les appela d'abord objets à « comportement scalant », qui est un anglicisme renvoyant à une invariance sous les dilatations et les contractions. En effet, la langue anglaise a conservé le terme *scale*, très proche de sa racine latine *scala*, pour désigner entre autres une résolution. D'ailleurs, en géographie, l'échelle « est toujours employée au sens d'échelle de résolution spatiale, mais il fait tout aussi bien référence à l'échelle de représentation cartographique qu'aux niveaux d'observation et d'analyse » (Mathian et Piron, 2001, p. 61).

Il est désormais important, pour ne pas dire essentiel, de distinguer échelle et résolution. L'échelle désigne plutôt une catégorie générale, tandis que la résolution correspond plutôt à une variable permettant de quantifier ce concept d'échelle. Il faut insister une nouvelle fois sur le fait que la résolution est un rapport entre une longueur mesurée sur le terrain, par exemple, et la longueur reportée sur une carte, sur un plan, sur un schéma, *etc.* Par exemple, lorsque l'on dit 1 millimètre représente 100 mètres, cela signifie qu'en deçà 1 millimètre on ne possède plus aucune information sur la mesure opérée sur le terrain. De même, on appelle ainsi la série de divisions sur un instrument de mesure. La résolution est donc un maillage. On peut ainsi définir différent type de maillage. Le plus courant, le plus utilisé est évidemment le maillage carré, mais il n'est pas unique. Il existe également le maillage rectangulaire, hexagonal et circulaire, *etc.*

Échelle, résolution et niveau ne sont jamais uniques car, « d'une façon plus générale, tout changement d'échelle modifie les perceptions et les représentations, et parfois même la nature des phénomènes. [...] Le changement constant d'échelle, s'il est maîtrisé, est extrêmement utile et la compréhension transscalaire et multiscalaire de l'espace est toujours supérieure à une vision monoscalaire » (Brunet *et alii*, 1992, p. 175).

## 2.2. Multi-échelle, multi-résolution et multi-niveau

Étudier une échelle, une résolution et un niveau a peu d'intérêt, car « il se passe beaucoup de choses quand on change d'échelle, c'est-à-dire d'ordre de grandeur dans les échelles et dans la taille des phénomènes » (Brunet *et alii*, 1992, p. 175). De plus, « le changement d'échelle sert de signe de reconnaissance des géographes [et] sert de marqueur corporatif » (Lévy et Lussault, 2003, p. 287). Pour étudier les changements d'échelle, il existe différents concepts communs entre la géographie et d'autres sciences : multi-échelle, multi-scalaire, multi-résolution et multi-niveau. Pour définir rigoureusement ces termes, il faut procéder de manière analogique par rapport aux définitions données des termes « échelle », « résolution » et « niveau ». Ainsi, l'approche multi-échelle est une expression générique pour désigner les différentes relations qu'il peut exister entre les échelles, d'où l'importance de la théorie de la relativité d'échelle où seules les relations ont un sens, et non pas les échelles elles-mêmes dans l'absolu.

### 2.2.1. L'approche multi-scalaire

L'approche multi-scalaire est l'approche multi-échelle la plus ancienne en géographie. Il s'agit de celle d'Yves Lacoste (1976). Elle consiste à étudier l'emboîtement d'un objet à différentes échelles. Pour cela, il faut « classer les différentes catégories d'ensembles spatiaux, non pas en fonction des échelles de représentation, mais en fonction de leur différence de taille dans la réalité » (Lacoste, 1976, p. 68). C'est ainsi qu'il faut « ordonner la description et le raisonnement géographique en différents niveaux d'analyse spatiale qui correspondent à différents ordres de grandeurs des objets géographiques, c'est-à-dire des ensembles spatiaux qu'il importe de prendre en considération pour rendre compte de la diversité des combinaisons de phénomènes à la surface du globe » (Lacoste, 1976, p. 68). A la suite des investigations d'Yves Lacoste, plusieurs méthodes d'analyse quantitative ont vu le jour. D'abord, on utilisa l'analyse de la variance (Haggett, 1973 ; Sanders, 1989 ; Grasland, 1991). Puis, on utilisa des études multidimensionnelles comme l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle des correspondances (Rozenblat, 1989). Enfin, Stewart Fotheringham et David. Wong (1991) utilisèrent des modèles de régression linéaire multiple pour traiter le problème de l'unité zonale modifiable (M.A.U.P.). Le M.A.U.P. est un objet d'étude extrêmement intéressant, car ils montrent comment une structure change avec la résolution initiale utilisée. Jusqu'à présent, l'objectif de ceux qui l'étudient est de supprimer ce problème. La relativité d'échelle montre que c'est impossible (Nottale, 1989 ; 1993 ; 1998 ; 2001a ; 2001b ; 2002a ; 2002b). De plus, toutes ces méthodes souffrent d'un manque théorique sous-jacent ; théorie qui pourrait être celle de la relativité d'échelle.

### 2.2.2. L'approche multi-résolution

L'approche multi-résolution consiste à étudier un objet géographique à plusieurs résolutions données. Elle permet de trouver quels sont les « bons » niveaux d'observation possibles. C'est une telle approche qui sera développée dans le cas de l'étude morphométrique d'Avignon (cf. chapitre 8).

### 2.2.3. L'approche multi-niveau

L'approche multi-niveau consiste à mettre en relation les niveaux d'observation et les niveaux d'organisation (Mathian et Piron, 2001, p. 62). En effet, les différentes tailles d'un objet s'articulent autour de plusieurs niveaux d'organisation, c'est-à-dire de niveaux à partir desquels l'environnement spatial d'un objet change. La relation de dépendance entre ces niveaux est double : soit il s'agit d'une inclusion, soit il s'agit d'une intersection. La première a été la plus utilisée jusqu'à présent. Elle consiste à prétendre qu'un objet géographique s'emboîte comme les poupées gigognes. La seconde est plus rarement utilisée, du moins de manière explicite. Elle consiste à dire que l'information entre les niveaux change de nature. Cela renvoie à tous les problèmes autour de l'agrégation, notamment du M.A.U.P. (Fotheringham et Wong, 1991).

### 2.3. Effet d'échelle et effet de maillage

Tout cela, conduit naturellement à ce que tous les géographes appellent « l'effet d'échelle » (Claval, 2003, p. 56-58) d'une part, et « l'effet de maillage » d'autre part. « Le premier appelé « effet d'échelle » est lié au biais introduit par le choix d'un échelon pour l'observation d'une distribution. Le second, appelé « effet de maillage », est lié au biais introduit par le choix d'un maillage, pour un échelon donné » (Mathian et Piron, 2001, p. 63). L'effet de maillage concerne donc la résolution. En fait, les deux effets observés correspondent à différents aspects de la manifestation de la fractalité d'un objet (Nottale, 1993). Comme cela sera montré dans le chapitre 8, avec l'exemple de l'étude morphométrique de la ville d'Avignon, les deux effets sont intimement liés et dans la pratique, les distinguer est une gageure.

Aujourd'hui, le concept d'échelle en géographie semble être menacé. En effet, pour Denise Pumain (2003), les échelles intermédiaires entre le local et le global sont peu étudiées. Elle se pose d'ailleurs la question de leur existence. Pour elle, le territoire ne présente plus d'intérêt, seuls les réseaux comptent.

De plus, l'analyse multi-scalaire d'Yves Lacoste reste valable pour des problèmes géopolitiques (Raffestin, 2001). Par contre, dans les autres analyses menées dans les différentes sous-disciplines de la géographie, elle semble caduque. En géographie humaine, par exemple, aujourd'hui, dans l'ère des nouvelles technologies de l'informatique et de la communication, ce qui compte est d'être branché, connecté. La distance ne compte désormais plus, car chaque individu a directement accès au reste du monde. Toutefois, l'analyse multi-échelle conserve tout son sens dans l'analyse de morphologies tangibles, *via* notamment la géométrie fractale. Ainsi, la notion d'échelle conduit à celle de limite. Les deux sont intimement liées.