

## Atelier 2

### L'instrumentation pour la reconnaissance et la construction des formes en géographie : de la carte à la morphologie mathématique

Président de séance : P. Martin<sup>1</sup>

Transcription des débats : P. Ellerkamp<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Université d'Avignon  
UMR ESPACE 6012 du CNRS, Avignon

## I. Synthèse introductive

Par Philippe Martin

Nous avons à traiter de 20 communications qui ont été classées dans le thème 3 : l'instrumentation pour la reconnaissance et la construction des formes en géographie ; de la carte à la morphologie mathématique.

### A. Et la carte ?

Le premier point à soulever est certainement que nous n'avons aucune communication qui développe le rapport entre la forme et la carte ; la carte comme instrument de reconnaissance, de connaissance de la forme. En particulier les questions de régularisation, d'idéalisation des formes, auraient pu être abordées.

Il y a en arrière plan de ce rapport entre carte et forme perçue la question des schémas mentaux, des processus mentaux plus ou moins conscients qui nous conduisent à rechercher tel ou tel type de formes dans le paysage ou dans la scène observée puis à choisir tel ou tel type de représentation.

L'importance de cette structuration mentale est palpable au travers de l'histoire des formes fractales. Tant qu'elles n'ont pas été théorisées, elles n'ont pas été perçues. Elles étaient seulement vues mais pas identifiées, même intuitivement. Il y avait comme une obstruction mentale générée par le référent euclidien.

De même la caractéristique ubiquiste des formes fractales, à savoir l'irrégularité en tous points de leurs limites, ne pouvait être représentée car il est difficile, voire impossible de dessiner une courbe irrégulière à toutes les échelles. La régularisation visible sur les cartes est donc la conséquence d'une part du facteur de réduction lui-même qui contraint les plus grandes échelles mais aussi, d'autre part, d'un problème technique de dessin et enfin, troisièmement d'un problème de conception - perception de l'interface terrestre qui reste l'objet d'étude principal du géographe.

Il y a donc autour de ces problèmes un questionnement fondamental pour la discipline elle-même puisque

toute représentation forme ou déforme la conception que chacun se fait de cet espace anisotrope où il est conduit à vivre.

Or cette question a un prolongement ou un développement symétrique dans les différentes techniques d'extraction d'informations morphologiques.

À partir de nos schémas mentaux, de nos processus d'acquisition et de traitement de l'information spatialisée - pour se limiter à celle-là - que percevons nous ? Que retenons nous ? Que recherchons nous ? C'est évidemment, en partie, aux théoriciens de la Gestalt ou des sciences cognitives de nous le dire mais les outils « géographiques » qui sont bâtis pour extraire cette information ne sont-ils pas, eux aussi, conçus en fonction de ces représentations, de ces perceptions, en fonction de notre « compréhension » visuelle du monde ?

Il est clair que nous sommes ici dans une relation circulaire que l'on peut faire débiter où l'on veut : je vois, je représente, je conforte ou acquiers des schémas mentaux à partir desquels je vois, ... Cette relation circulaire apparaît nettement comme un processus limité dans le sens où la nouveauté ne peut venir que de ce qui est observé. Je vois quelque chose qui ne correspond pas à ce que je connais donc je m'interroge. Nous retrouvons là la primauté du terrain ; l'idée de l'exploration si ce n'est celle de l'aventure (partir à la découverte du monde). La frontière du géographe est dès lors un front, une limite ; celle des terres explorées ou inexplorées. On peut ainsi considérer qu'il existe des fronts intérieurs. Telle partie du territoire métropolitain n'a pas fait l'objet d'une cartographie *ad oc* comparée à telle autre. Il devient donc un territoire à « conquérir », à cartographier.

Cela étant, inversement, qu'il n'y ait rien sur ces questions, sur la carte et la cartographie, dans les 20 communications proposées, et plus largement dans le colloque, est peut-être le signe d'une prise de conscience des limites de cette démarche et d'une nécessité de bâtir à côté de cette approche historique et encore fort utile, une théorie, en géographie, des formes et des structures spatiales. En d'autres termes il est peut-être utile d'introduire dans la relation circulaire ci-dessus évoquée rapidement, de la nouveauté, de l'imagination, la possibilité de développer quelque chose de radicalement différent, à discuter et à tester certes mais qui pourra, à terme, apporter des informations entièrement nouvelles. Or où l'imagination contrôlée peut-elle mieux se déployer que dans les constructions théoriques ? D'où viennent les « ruptures » en sciences si ce n'est de nouvelles théories ?

### B. Extraire, certes ; théoriser, assurément

Ce qui est essentiel, central, fréquent, dans les communications proposées c'est la question de savoir comment nous pouvons extraire une forme, une morphologie, de cette interface terrestre que nous peuplons et qui est de toute évidence anisotrope.

Cette constatation nous conduit donc à la question suivante : dans quelle mesure nos schémas mentaux contrôlent-ils de façon plus ou moins consciente ce que nous extrayons ?

L'œil, la mesure de rayonnements, sont certainement importants mais ne nous enferment-ils pas dans un mode de connaissance ? La « vision » doit-elle rester première ?

Question que nous pouvons inverser. Dans quelle mesure, en développant quelle démarche, pouvons nous volontairement nous éloigner de nos schémas mentaux, de notre intuition première pour identifier et extraire différemment des formes, car les isoler c'est déjà les caractériser ? Cela nécessite donc de s'interroger sur l'information collectée.

L'outil est important certes mais ce qui l'est certainement plus encore ce sont les conditions de construction de l'outil. Autrement dit la construction de l'outil lui-même est déterminant et la reconnaissance, la caractérisation des formes débutent dès sa conception. Ce qui est particulièrement remarquable dans ces communications c'est que les différents outils employés témoignent de différentes étapes du processus de reconnaissance des formes et de connaissance de l'interface terrestre.

### C. Analyse des communications proposées

Nous avons classé les communications proposées en considérant que la question qui arrive en premier est celle d'être dans la forme, dans l'espace anisotrope de l'interface terrestre. Il y a là pour tout un chacun des questions à résoudre à chaque instant, qui sont récurrentes, et donc essentielles. Elles touchent évidemment au problème de la mobilité puisque celle-ci est limitée, conditionnée par l'organisation spatiale existante. Bon nombre de recherches visent à optimiser la mobilité qui est aujourd'hui vue, certainement de façon excessive, comme un élément cardinal de nos sociétés.

La seconde grande question est de pouvoir, d'avoir les moyens d'identifier, d'isoler, d'extraire une forme, une configuration spatiale, une organisation de l'interface terrestre. Les communications étant plus nombreuses sur ces questions, il est possible de les regrouper en deux sous chapitres. L'un aura trait à la façon dont nous pouvons construire la scène à partir de laquelle une réflexion se développera. L'autre renvoie aux problèmes liés à l'extraction de quelque chose d'une scène.

La troisième grande question est celle de la caractérisation de la forme ou de la structure spatiale. Cette caractérisation peut être technique ou théorique. Dans les deux cas elle doit nécessairement s'appuyer sur une réflexion épistémologique ce que nous verrons dans un premier point au travers d'une communication. Au-delà la caractérisation peut prendre la forme d'une analyse d'un variable régionalisée au sens de Matheron et de la géostatistique. Il s'agit alors de mettre en évidence un champ déployé dans l'espace choisi. Ceci renvoie très

généralement à des modèles (logistique, gravitaire, etc.). Il n'y a pas, à proprement parler, de forme dans cette approche mais la mise en évidence d'une cohérence spatiale ; la forme pouvant être définie par la limite du champ. Celle-ci est parfois visible (tissu urbain) ou invisible (bassin de chalandise). Au-delà une approche analytique est possible. Elle est bâtie sur une logique d'indicateurs et de comparaisons. Les indices, ces indicateurs qui résument et surtout standardisent une information peuvent être plus ou moins sophistiqués. La comparaison ne se fait généralement pas entre résultats livrés par des indices différents mais entre objets sur lesquels les indices ont été appliqués. Il n'est d'ailleurs pas rare qu'une batterie d'indices soit nécessaire pour arriver à une discrimination intéressante. Certains de ces indices peuvent être rattachés à un corpus théorique plus large. C'est en particulier le cas de ceux dérivés de la géométrie fractale, de la dimension fractale en particulier. Ce cadre théorique d'arrière plan permettant d'aller plus loin dans la caractérisation.

À partir de là, et dans la mesure où le problème inverse aurait été résolu, il est possible d'initier des simulations qui modéliseront la morphogenèse. Cette démarche nécessite au préalable la reconnaissance de ce que l'on veut reproduire donc la caractérisation des formes puis la mise en équation de la relation entre flux et forme. Cette relation comme celle entre forme et flux (problème inverse et influence de la forme sur les flux) n'étant pas maîtrisées les essais qui sont réalisés le sont plus ou moins en « aveugle », c'est-à-dire à partir d'hypothèses très larges (généralement pas explicitées) et d'une connaissance restreinte, visuelle, de la forme à générer.

C'est à une partie de ce problème que s'attachent deux communications qui essaient de voir comment la forme module les flux, soit à partir d'un modèle physique, soit à partir d'un automate cellulaire.

Nous avons essayé de synthétiser ces démarches, et d'autres possibles, dans un graphe (fig.1).

#### 1. Être dans la forme

##### a. Communication de F. Audard

Dans sa communication « L'optimisation du découpage spatial dans une problématique de transport », F. Audard constate d'une part que les structures spatiales sont irrégulières et d'autre part qu'il faut en optimiser l'usage ; c'est-à-dire optimiser la circulation des flux. L'objectif étant de faciliter la mobilité de populations rurales. La problématique est donc plus celle des flux, des réseaux et des bassins de chalandise que celle des formes *ss*.

##### b. Communication de J. M. Follin et A. Bouju

Dans leur communication « Représentation des entités spatiales à différentes résolutions dans un SIG mobile », J.M. Follin et A. Bouju constatent que les

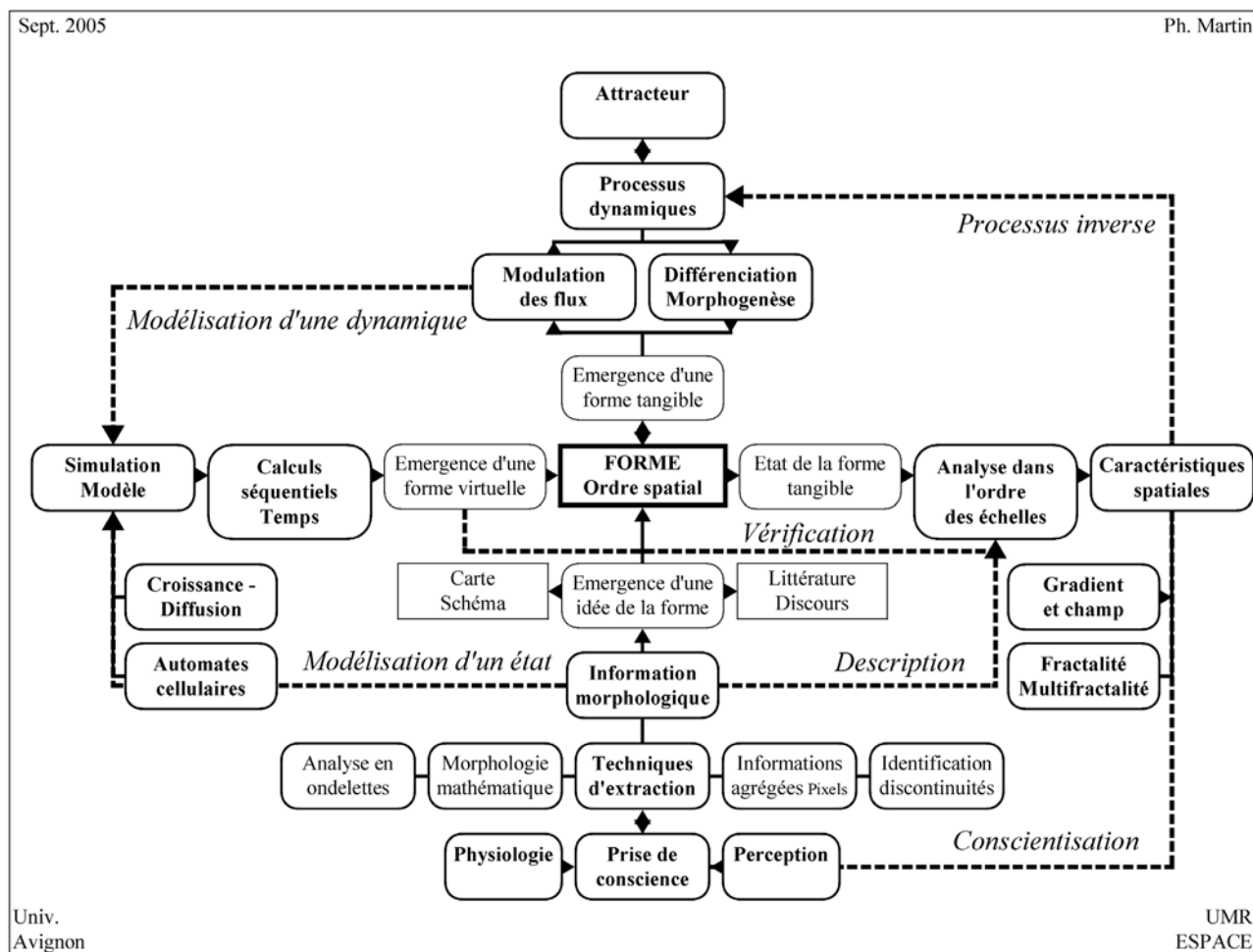


Figure 1 : démarche possible autour du concept de forme.

structures spatiales sont complexes. Leur problème est de savoir comment mettre à la disposition d'un client une information géographique pertinente c'est-à-dire à la bonne échelle, ou, si l'on préfère, comment fournir une information géographique multiéchelles qui nourrisse la « carte mentale » du client. Un dispositif technique basé sur les moyens informatiques courants est proposé.

## 2. Pouvoir extraire la forme

### a. Construire la scène

#### ❖ Communication de A. Genin et J.L. Yengue

Dans leur communication « Transects de paysage » et « points - paysages », outils pour l'étude des formes paysagères », A. Genin et J.L. Yengue montrent comment extraire de l'information biogéographique à partir d'un point de vue et d'une observation circulaire. Ils procèdent au calcul d'indices selon deux profondeurs de champ. Puis ils calculent par krigeage la carte de l'indice de fermeture des paysages (vallée de la Loire). Il n'y a pas à proprement parler de formes dans ce travail mais des informations dans l'espace relatives à un point.

#### ❖ Communication de C. Turck et D. Badariotti

Dans cette communication « Apport de l'analyse fractale et des indices de formes à l'étude morphologique des espaces géographiques application en milieu urbain », les limites, donc la forme, d'un champ balayé par le regard (ou par un rayon de lumière cohérente) sont définies pour 1677 sites urbains ouverts de Strasbourg. Le point choisi est généralement central par rapport à l'espace libre. La limite de chaque forme est une entité physique (mur, etc.) ou un arc de cercle si l'horizon est au-delà de 500 m.

La forme est liée de façon déterminante au point d'émission du regard ou du rayon. Il y en a donc une infinité de formes possibles. Le choix des 1677 est discrétionnaire. Ces formes sont analysées par calculs d'indices (9) et par approche fractale. Apparaît ainsi une typologie de morphologies locales des espaces urbains ouverts. L'étude a comme commanditaire et comme utilisateurs premiers une société de téléphone portable.

### b. Extraire d'une scène

#### ❖ Communication de J.C. Foltête

Dans sa communication « Cartographie des éléments de paysage par télédétection : la forme comme révélateur de la

fonction », l'auteur montre à partir d'images d'un satellite qu'il est possible d'extraire des objets biogéographiques, soit en extrayant des pixels contigus de même catégorie, soit en procédant à une segmentation spatiale (repérage de discontinuités ?). La limite correspond alors à une variation de réponse spectrale.

La reconnaissance des formes passe ensuite par le calcul d'indices (12). En croisant les indices et les valeurs spectrales il est possible d'identifier les objets (labour, village, route, etc.). La cohérence de la forme est un moyen qui sert à l'identification. La forme identifiée, extraite, mesurée peut ensuite être mise en rapport avec des modalités de fonctionnement (rapport entre l'irrégularité de lisières et un indice de bio diversité par exemple).

#### ❖ Communication de C. Mering

Dans sa communication intitulée « Extraction des formes sur les images aériennes et spatiales. L'exemple de des formes éoliennes et des formes volcaniques », l'auteur relate une extraction de formes à partir d'images satellites et d'opérations mathématiques (morphologie mathématique). L'objectif est d'obtenir automatiquement ce qu'un expert obtiendrait à la main.

La forme est pensée comme une information relative à des fonctionnements que l'on ne peut atteindre. La limite correspond à une variation de réponse spectrale révélée par des traitements mathématiques.

La méthode joue sur les échelles en associant et dissociant les informations brutes. La forme obtenue est clairement tributaire de la séquence d'opérations mise en place.

#### ❖ Communication de A. Gaye

Dans sa communication « Morphogenèse urbaine les émergences de Noïabrsk, une ville pétrolière et gazière de Sibérie occidentale », l'auteur montre comment extraire des objets urbains (bâti) à partir d'images satellites et d'un traitement en ondelettes. L'approche se fonde sur le caractère multiscale de l'objet. Cette extraction est réalisée pour deux dates. L'auteur procède ensuite selon une approche diachronique pour la ville (nouvelle ?) de Noïabrsk (1991-2001).

Apparaît ainsi, par différence, l'extension du bâti entre ces deux dates. Les morphologies urbaines semblent très typées selon les périodes dans cette ville de pionniers ; spécificité qu'exploite la méthode proposée.

### 3. Caractériser ou théoriser la forme

#### a. Approche épistémologique

#### ❖ Communication de C. Marchand

Dans son texte intitulé « Transformation des formes du paysage et auto-organisation. Pour une perspective diachronique », l'auteur développe une réflexion autour du concept d'auto-organisation vu comme expliquant la morphogenèse. La forme est interprétée comme un

système complexe. Cette réflexion épistémologique vise à donner un fondement scientifique à la forme des paysages.

#### b. Caractériser une variable régionalisée, un champ

#### ❖ Communication de C. Enault

Comment varie la densité du bâti du centre vers la périphérie ? Telle est la question que se pose l'auteur dans sa communication « Modéliser la forme urbaine par une fonction logistique. Analyse de l'étalement urbain à partir de la notion de dilution ».

L'application du modèle logistique (décroissance logistique) permet d'en rendre compte tant dans le temps que dans l'espace.

Sur une petite ville récente trois zones sont identifiables :

- 1- le centre dense,
- 2- une 1<sup>ère</sup> couronne avec un fort gradient négatif,
- 3- le péri urbain avec une densité faible qui varie peu, ce qui correspond à une courbe en S inversée par une symétrie en miroir.

Au fur et à mesure que la ville grossit, la pente au niveau du point de retournement des différents modèles ajustés, diminue. Le développement urbain tend donc à réduire la discontinuité urbain/rural et à la remplacer par un gradient.

Il y a donc complexification de la limite entre la ville et le domaine rural. Cela renvoie à une dynamique bien connue en botanique et en écologie. Un organisme qui croît doit nécessairement augmenter sa surface d'échange plus vite que son volume. Cela ne peut se faire que par des digitations, des arborescences qui assurent un enchevêtrement très poussé de la ville et de son environnement. À cette ramification peut s'ajouter une fragmentation. En d'autres termes la forme plus ou moins digitée de la limite de la ville fait baisser en périphérie la densité. Par ailleurs, plus la forme d'ensemble de la ville s'approchera d'un disque, meilleur sera l'ajustement.

L'ajustement aux données du Dijon médiéval (1050) est bon. Il est moins bon aux données de 1995 (augmentation locale de la densité). Est-ce le début d'une polynucléarité ? Toutefois il nous semble qu'il y a une dimension tautologie dans cette modélisation. Le centre est défini comme la zone la plus dense puis il sert de point de départ au modèle de variation décroissante de la densité.

#### ❖ Communication de A. Quesnel-Barbet, J.P. Thumerelle et R. Beuscart

Les auteurs dans leur communication « Géographie des pratiques hospitalières dans la région Nord - Pas-de-Calais », utilisent le modèle gravitaire pour rendre compte de la structuration spatiale de l'attraction des services médicaux traitant des maladies du sang. Les résultats obtenus avec le modèle sont comparés aux données empiriques. Les écarts ne semblent pas importants.

Il est possible dès lors d'envisager des déplacements de services, des fermetures ici et des ouvertures là, et de voir ce que deviendraient les bassins de chalandise afférents. Cette approche est applicable à toutes régions autres que le Nord Pas-de-Calais puisqu'elle est normée en fonction de la taille de la population. C'est un outil de gestion compliqué certes, mais dans lequel la forme est largement seconde.

### c. Approche analytique

#### ❖ Communication de M. Guérois

L'auteur dans sa communication « Les agglomérations européennes sur une double échelle de compacité », se livre au calcul de deux indices, l'un de densité, l'autre de forme (indice dit de compacité qui apparaît comme inverse de la digitation) sur les zones urbaines d'Europe de l'ouest à partir de données extraites de la base CORINE Land cover.

La densité est relative. Elle se comprend ici comme un écart à une valeur attendue : 1,5 km<sup>2</sup> pour 10 000 habitants. Globalement on peut dire que les villes sont plus denses au sud qu'au nord et qu'il y aurait donc comme une sorte de gradient.

Une combinaison d'indices (graphe) permet de discriminer entre les villes allongées ou à forte ou à faible digitation. La densité et la compacité semblent se combiner avec des logiques très locales et donc sans définir d'organisation à petite échelle, à l'échelle de l'Europe.

En partant des observations faites à partir du travail de C. Enault (voir ci-dessus) il serait peut-être bon de rapprocher la digitation du tissu urbain du taux de croissance de ces villes exprimé en surface bâtie au sol par exemple.

#### ❖ Communication de M.P. Corcuff

Dans cette communication intitulée « Processus fractals d'analyse et de génération de formes. Application à l'interprétation d'une photo aérienne », l'auteur s'attache à rendre compte et à modéliser un trait de côte, pris comme modèle d'organisation de l'espace. Le lieu choisi est une baie très fermée. Ce dispositif permet de « définir » deux littoraux, l'un interne de la baie, l'autre externe, face au grand large, qui sont donc placés dans une situation fort différente mais qui sont aussi localement associés dans une presqu'île (Côte de l'Émeraude).

Le trait de côte est ensuite analysé par une approche fractale classique (calcul de dimension fractale). L'auteur souligne à juste titre que cette valeur ne suffit pas à caractériser la forme.

Pour essayer d'aller plus loin des modèles sont proposés afin de simuler cette morphologie.

#### ❖ Communication de G. Bailly et P. Martin

Dans leur communication : Le bocage du Bas-Boulonnais, les auteurs développent une caractérisation

fractale d'un ensemble des haies du bocage de cette région. La dimension de cette structure rurale est voisine de 1,70. La valeur de la dimension fractale diminue en outre linéairement d'ouest-est (de 1,8 à 1,5).

Le système de haies (et donc le bocage) est interprété comme une optimisation fonctionnelle de l'espace, comme un « jeu » avec la 3<sup>e</sup> dimension (la hauteur) par une société rurale logée dans un espace d'extension limitée (boutonnière).

#### ❖ Communication de A. Dauphiné

Dans sa communication intitulée « Émergence et multifractalité des formes. Un exemple d'application en géographie urbaine », A. Dauphiné part de l'idée que la forme est liée à l'idée ancienne d'émergence, qu'il s'agisse de cristallisation dans l'espace tangible ou de prise de conscience de l'existence d'une forme.

Ainsi toute émergence n'est qu'une discontinuité qui n'existe qu'en fonction d'un tout. L'émergence s'oppose au réductionnisme interne voire externe car il faut articuler les échelles.

L'hypothèse centrale de l'auteur est que l'approche multifractale (variation ordonnée de la dimension en fonction des échelles) doit s'avérer plus adaptée à la caractérisation du phénomène urbain puisque celui-ci constitue un phénomène émergent.

L'idée est testée positivement à partir du flux lumineux émis par les villes du monde, de France et de la Côte d'Azur mais les résultats diffèrent suivant l'échelle.

À partir de là (état multifractal) peut être posé le problème inverse : comment « remonter » de la forme (multifractale) aux processus ?

#### ❖ Première communication de P. Martin

Dans une communication intitulée « La dimension fractale d'un relief varie-t-elle avec l'altitude ? L'exemple de l'Aigoual (France) », l'auteur établit le caractère fractal du relief de l'Aigoual ( $D_f = 1,35$  pour les valeurs asymptotiques) à partir d'une étude de ses courbes de niveau. Il est ainsi possible de montrer que la dimension fractale varie avec l'altitude. Elle est plus forte en bas qu'en haut.

La dynamique érosive étant proportionnelle à la surface drainée, les niveaux les plus actifs sont ceux qui présentent les dimensions les plus fortes.

Quatre relations entre l'altitude et la dimension fractale sont ensuite envisagées. Un modèle cyclique d'évolution morphogénétique est proposé pour rendre compte du déploiement puis de la rétraction de la surface du massif en fonction de la croissance et de la décroissance de l'altitude.

L'une des possibilités est que la dimension fractale varie alors que l'altitude reste constante. Cela se traduit par une courbure sur un graphique bi logarithmique.

#### ❖ **Seconde communication de P. Martin**

Dans une communication intitulée « Des courbes de niveau « scale dependent » à l'Aigoual ? Mesure et signification d'une courbure », l'auteur part de l'idée que les graphiques de calcul de la dimension fractale présentent toujours une courbure régulière.

Cette courbure peut être ajustée à un polynôme :  $y = ax^2 + bx + c$ .  $a$  est le coefficient de courbure dit  $C_c$ . Cette courbure correspond à une variation de la dimension fractale en fonction des échelles de mesure.

La dimension fractale est faible à grande échelle, localement ; elle est plus forte à petite échelle, globalement, pour les morphologies externes. C'est l'inverse pour les morphologies internes (dans l'endo-karst par exemple).

La dimension fractale et le coefficient de courbure sont associés dans un indice -G- qui évolue linéairement avec l'altitude.

L'Aigoual a donc un massif dont le relief varie selon deux dimensions : les échelles et l'altitude. Cet état « scale dependent » est plus complexe qu'un état fractal simple. Pourquoi en est-il ainsi ?

#### ❖ **Troisième communication de P. Martin**

Dans cette communication qui porte le titre de « Fractale parabolique et fractale « scale dependent » : un problème de courbure ? Échelle et finitude » L'attention de l'auteur est focalisée sur cette courbure, sur cette figure, sur cette forme qui se rencontre aussi bien dans les graphiques de calcul de dimension fractale que dans les structures hiérarchiques, parétiennes.

Plusieurs exemples types, à différentes dates, de structures hiérarchiques sont donnés : tailles de cavités, chiffres d'affaires d'entreprises et populations urbaines selon des approches locales (pays) et globales (monde).

La courbure qui renvoie à un modèle certes plus général, varie en valeur mais sans jamais disparaître. Cette persistance est hypothétiquement expliquée par la matérialité du monde, par sa finitude.

Autrement dit les fractales correspondent à une diffusion de l'information dans l'ordre des échelles et les pluri multifractales à une diffusion variable certes, mais ordonnée, de l'information dans l'ordre des échelles.

Si nous ne voulons pas simuler « à l'aveugle » il faudra avoir la solution au problème inverse qui intègre ces spécificités.

#### **d. Simuler la morphogenèse**

##### ❖ **Communication de G. Caruso**

L'objectif de l'auteur dans sa communication intitulée « Morphogenèse de l'étalement urbain. Expressions spatiales théoriques d'un modèle économique du choix résidentiel », est de simuler certaines caractéristiques de la forme urbaine (étalement urbain) à partir d'un modèle d'équilibre articulé avec un automate cellulaire.

La variation des paramètres du modèle (externalités sociales et externalités vertes) permet de faire varier une forme urbaine schématique.

Ce premier résultat peut être complété en faisant varier d'autres paramètres : rente agricole, revenu des ménages, coût de transport. La baisse de la rente et/ou du coût de transport et/ou l'augmentation des revenus conduisent à un étalement plus prononcé. On notera que la structure spatiale de base du modèle est un disque et qu'il faudra peut-être dans un second temps introduire des axes de circulation.

#### **4. Comment la forme module-t-elle les flux ?**

##### **a. Communication de D. Delahaye et P. Langlois**

Dans leur communication intitulée « Vers de nouvelles mesures de la forme des bassins versants », chaque bassin versant est considéré par les auteurs comme possédant une morphologie ordonnée (talwegs et surfaces).

De plus cette forme est pensée comme ayant un rôle dans les modalités d'écoulement. Elle est dès lors modélisée par un automate cellulaire.

Les auteurs calculent, en fonction de la topologie du réseau (graphe) et de la morphologie des surfaces (pente), quelle est le nombre de cellules qui passe à l'exutoire à chaque instant.

Ils en déduisent deux chroniques : le surfaçogramme (variation de l'effectif des cellules drainées) et le morphogramme (variation de l'effectif des surfaces drainées après pondération par la pente ; lorsque la pente est forte la vidange est plus rapide). Nous avons là la caractérisation d'éléments structurels que des flux mettrons en jeux.

Les résultats ressemblent à des hydrogrammes dont la forme est très liée à la topologie du réseau sur ces bassins d'essais où les pentes sont assez faibles. Nous avons donc une fonction qui correspond (talweg et surface) à la morphologie de chaque bassin versant. Il reste à articuler ce « filtre » à un signal d'entrée (précipitations).

La méthode rend donc compte de l'influence potentielle de la forme sur le flux.

##### **b. Communication de B. Roland**

Le bocage du bassin du Burbure en Vendée est une structure rurale en régression ce qui entraîne des modifications dans les écoulements. Cette dynamique a conduit l'auteur à engager la construction d'un modèle analogique (maquette physique) et à essayer de simuler des écoulements avec une densité plus ou moins forte de haies. Il nous donne les premiers résultats dans une communication intitulée : « Formes du bocage & ruissellement. Construction d'un modèle analogique pour mesurer l'effet d'un réseau de talus / haies sur le ruissellement ».

L'auteur nous dit que le bocage est une fractale entre certaines échelles (entre des échelles dites de coupure). Cela étant il semble logique de supputer l'existence d'une courbure comme pour le Boulonnais, ce qui remettrait en question la validité des coupures.

Ces caractéristiques fractales sont introduites dans un modèle hydrodynamique. Les simulations montrent que la baisse de la dimension fractale, sur 40 ans (1959 :  $Df = 1,76$  ; 1997 :  $Df = 1,62$ ), induit une augmentation de la « violence » (montée de crue plus rapide, pointe plus forte) de la réponse après une pluie. Nous retrouvons là un phénomène proche de ce qui est connu sur des bassins versants après des coupes à blanc, mais ici de façon graduelle et limitée.

Cette étude est un autre exemple de l'influence de la forme sur le fonctionnement.

### **D. En conclusion nous obtenons trois types de travail sur les formes**

La première correspond aux travaux de Génin et Yengué et à ceux de Turck et Badariotti. Elle concerne une extraction « manuelle » d'informations morphologiques sur le mode de ce que peut faire le regard, tel un phare balayant l'horizon.

- ❖ Ces approches conduisent à construire une scène très anthropomorphique dans sa conception et relative à un point central. L'information recueillie est clairement une distance dans le second cas.

La seconde correspond aux travaux de Foltête, Mering et Gaye. Dans ce cas la scène est donnée c'est une image satellite avec sa discrétisation en pixels.

- ❖ Les auteurs mettent en place des techniques particulières en agrégeant des pixels ou en identifiant des discontinuités, en appliquant les outils de la morphologie mathématique ou, enfin, en développant un traitement en ondelettes.
- ❖ Ce qui est remarquable dans ces exemples c'est que ce qui est recherché est ce qui est visible : des limites d'unités biogéographiques pour Foltête, des morphologies spécifiques (dunes, coulées, etc.) pour Mering et le bâti d'une ville pour Gaye.
- ❖ L'idée est qu'ensuite il est possible de croiser ces informations avec le fonctionnement pour Foltête, de rendre compte d'un fonctionnement qui nous échappe pour Mering et de préciser une évolution pour Gaye.

La troisième possibilité correspond à une recherche de caractéristiques généralement peu apparentes mais présentes dans des structures spatiales, dans des formes qui sont choisies à partir de catégories bien classiques d'ailleurs (cf. la question de la stabilité structurelle) : la ou les villes pour Enault, Guerois et Dauphiné, le trait de côte pour Corcuff, un bocage pour Bailly et Martin mais aussi pour Roland et une montagne pour Martin.

- ❖ Au fond l'idée est ici de faire apparaître une dimension non visible dans une partie de l'interface terrestre et, de dépasser donc les contraintes imposées par le regard. Il est clair que pour en arriver là il faut monter dans l'abstraction mais aussi et surtout, construire une autre image, une autre réalité de cette portion d'interface terrestre. Cela passe nécessairement par un apport théorique qui ne peut être qu'extérieur et qui ne peut pas découler de la simple vision des choses. Il est frappant de constater que cette nouvelle image passe par la fractalité, par les caractéristiques fractales des objets tangibles choisis, et donc par la géométrie fractale elle-même c'est-à-dire par une construction mathématique permettant de décrire un espace muni d'une métrique.
- ❖ Là où dans le point numéro deux nous travaillons sur des limites, sur des discontinuités à une certaine échelle qui font sens à cette échelle (ce qui permet un prolongement vers la diachronie) dans ce point numéro trois nous sommes dans une démarche qui nous plonge dans les échelles, dans une structuration qui n'est pas celle dont nous avons l'habitude. Elle implique nécessairement à terme une modification de nos schémas mentaux et une immersion dans ce qu'il est convenu d'appeler aujourd'hui la complexité. La communication de Marchand sur la forme et sur l'auto organisation en est un exemple.
- ❖ De même la question de la simulation peut être considérée comme la réalisation de tests nécessaires à la construction d'une théorie de la forme. Cette simulation suppose en théorie résolue le problème inverse qui consiste à pouvoir remonter des formes aux fonctionnements selon une logique abductive, pour ensuite pouvoir modéliser le fonctionnement différemment qu'en aveugle.

Reste un certain nombre de communications qui se placent autour de ce noyau central et qui ont trait :

- ❖ soit aux problèmes de mobilités dans des espaces anisotropes : Audard, Follin et Bouju qui traitent de la façon d'être dans la forme ;
- ❖ soit à la question de la cause formelle entendue comme l'action de la forme sur les flux qui sont en interaction avec elle. Ce sont les travaux en hydrologie de Delahaye et Langlois puis de Roland.

L'ensemble de ces considérations peut être, dans une certaine mesure résumé dans un graphe (fig. 1) qui articule quatre domaines :

- la morphogenèse et la modulation des flux (cause formelle)
- la prise de conscience et l'extraction de l'information
- la simulation et la validation.
- l'analyse dans l'ordre des échelles et les caractéristiques spatiales.

- ❖ Ceci conduit à trois formes d'émergence : celle de la forme tangible, celle de l'idée de la forme, celle de la forme virtuelle pour un état fondamental qui est la matérialité de la forme elle-même.

## E. Éléments de discussion

À partir de là il nous semble possible de procéder en deux temps.

- ❖ D'abord envisager la question de l'anisotropie de l'interface terrestre c'est-à-dire en fait celle de l'existence d'unités ou de systèmes munis d'une cohérence interne donc plus fermés qu'ouverts, qui sont susceptibles de jouer un rôle dans l'écoulement de flux et au sein desquelles nous sommes habitués à circuler, souvent avec difficulté.
- ❖ Puis revenir au point central qui est celui de savoir si les instruments d'acquisition de l'information doivent uniquement être limités à des outils plus ou moins sophistiqués qui miment les possibilités humaines comme le font les capteurs ou les processus mathématiques de discrimination, ou si, l'instrumentation doit être comprise comme s'étendant à une construction théorique, à un développement de l'abstraction c'est-à-dire en fait comme la recherche d'une théorie de la forme qui ne peut être une théorie de la représentation de la forme.

## II. Débat

**François Durand-Dastes,**  
*Université Paris, UMR Géographie-Cités*

La présentation que vient de nous faire Philippe Martin met en évidence qu'il y a deux manières de traiter les informations relatives aux formes : la première a pour objectif de mettre en valeur des formes qui ne sont pas *a priori* visibles, car latentes ou cachées, tandis que la seconde consiste à remplacer une image visuelle de forme par une liste de nombres ou un nombre, parce que cela permet de condenser l'information et de faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace. En revanche, je comprends moins bien la radicalité de la différence de la dimension fractale qui se dégage de cet exposé. Si cette dimension permet effectivement de caractériser l'irrégulier et le lacunaire, j'ai de mal à voir la rupture radicale qu'il y aurait entre les différents traitements de l'information habituellement employés en géographie et la fractalité. Ces méthodes sont certes récentes, mais du résumé d'information on en faisait déjà. Avec les indices de forme, par exemple, il existe quantité de méthodes comme celles basées sur les quadras ou les plus proches voisins qui permettent de résumer un semis de point par un chiffre. Ces indices semblent aujourd'hui sous-employés alors qu'ils ont été beaucoup utilisés par le passé à propos des villes. En 1964, Bunde leur dédiait déjà trois chapitres de son ouvrage.

**Dominique Badariotti,**  
*Université de Pau*

Les indices de formes, tel qu'on les retrouve dans l'ouvrage de Colette Cauvin et Sylvie Rimbart sur la lecture numérique des cartes thématiques, n'ont pas beaucoup été utilisés simplement parce qu'ils étaient très difficile à calculer. Maintenant il est possible de les implémenter sur des SIG.

**Christine Turck,**  
*Université de Strasbourg,*  
*Laboratoire Image et ville*

Dans le cadre d'un travail pour France Télécom, j'ai employé sur la ville de Strasbourg des indices de formes et des mesures fractales pour caractériser et quantifier ce que l'on appelle des espaces vides, c'est-à-dire des surfaces ne présentant pas d'obstacles à la propagation des ondes radios. Les résultats obtenus ont permis de réduire de moitié l'erreur générée par les modèles de propagation d'ondes de France Télécom et servent également pour le positionnement des antennes relais. J'ai donc utilisé à la fois la géométrie euclidienne classique, par l'intermédiaire des indices de formes, et la géométrie fractale. J'en conclus qu'il est plus intéressant de combiner ces deux approches que de se limiter à une seule, car cela permet d'améliorer la modélisation de l'espace.

**Henri Chamussy,**  
*Laboratoire Territoires,*  
*UMR 5194 PACTE,*  
*Institut de Géographie Alpine, Grenoble*

Si d'un point de vue mathématique la rupture entre fractales et géométrie euclidienne est évidente, il ne faut pas oublier qu'il y a d'autres géométries non-euclidiennes comme celles de Riemann ou Lobachevsky. Les techniques mathématiques sont en fait très nombreuses, mais on ne les utilise que très peu en géographie car ce n'est pas dans notre culture. On peut aussi prendre l'exemple des statistiques bayésiennes ou des statistiques non-paramétriques qui ne s'implantent pas non plus en géographie bien qu'elles offrent de nombreuses possibilités pour la discipline.

Il est vrai que, de leur côté, les techniques associées aux fractales nous permettent d'entrer dans le paradigme de la complexité, mais je pense néanmoins que la rupture est moins brutale qu'il n'y paraît. L'histoire des sciences nous enseigne que les ruptures paradigmatiques nécessitent une dizaine ou une vingtaine d'années pour s'accomplir ; or le paradigme de la complexité s'annonce dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec, notamment, les thermodynamiciens, les biologistes, ou encore avec de Saussure en linguistique. La complexité est le fait de domaines de la connaissance qui étudient des organismes et qui ont pris conscience des limites du réductionnisme cartésien pour la compréhension de leur objet.

Avec l'analyse factorielle, la géographie avait déjà un bon moyen pour appréhender des choses complexes. Les informations que ces analyses révèlent au-delà des premiers axes portent d'ailleurs le nom de formes latentes, c'est-à-dire des formes qui peuvent être révélées, mais que l'on ne voyait pas *a priori*. Avec la théorie des ensembles flous il est possible de révéler des limites indécises entre différents ensembles ou des objets pour lesquels il est indécidable de dire s'ils sont dans un ensemble, dans un autre ou dans les deux. Christiane Rolland-May vient d'ailleurs de publier un ouvrage sur l'évaluation des territoires entièrement basé sur cette technique.

Finalement, l'analyse factorielle, la théorie des ensembles flous ou même la régression multiple constituent une sorte de transition en géographie des outils du paradigme post-galiléen au paradigme de la complexité. Le futur décidera s'il y a eu rupture radicale, mais je pense qu'il y a plutôt un passage progressif dans l'esprit et dans les techniques. Il ne faut cependant pas oublier que tout cela reste très lié à l'informatique. Les analyses factorielles ont été inventées en 1890, mais se sont généralisées qu'avec l'aide de l'ordinateur.

**Philippe Martin,**  
*Université d'Avignon,*  
*UMR ESPACE 6012 du CNRS, Avignon*

On a effectivement connu un certain nombre de révolution de l'outil en géographie ces trente dernières années, que ce soit avec les statistiques ou avec toutes sortes d'imageries. Après un effet de mode durant lequel ces méthodes sont très employées, on en revient à un type de fonctionnement plus normal : les nouveautés sont intégrées au cursus géographique et la discipline continue à progresser. Je pense qu'avec les fractales ce sera le même processus. Certes on en est encore aujourd'hui à l'effet de mode, mais l'écho extrêmement important que nous renvoient les autres disciplines indique bien que cet outil permet de rendre compte de nombreux phénomènes qui sont à l'échelle de l'homme, qu'il s'agisse de montagnes, de villes, de traits de côte ou encore de paysages.

La question fondamentale revient alors à se demander si cette approche déplace le regard. Or, avec les fractales nous pouvons quitter le visible pour aller vers l'abstraction. C'est là, me semble-t-il, leur principal avantage, mais les techniques évoquées par Henri Chamussy vont dans le même sens. Cela signifie que l'on se situe dans une démarche qu'ont connues les sciences dites dures, avec, par exemple, le passage de l'étude du comportement de masses palpables dans l'Antiquité grecque à la découverte de la gravitation et, enfin, à la mécanique quantique dans laquelle les phénomènes sont beaucoup plus abstraits. Si l'amorce d'une telle transition se confirme, cela veut dire qu'il faudra, par exemple, de plus en plus renforcer les enseignements mathématiques

et informatiques en géographie au détriment des leçons de lecture de cartes.

Quant à savoir s'il y a une rupture, les historiens en décideront, mais il me semble que la forme, dans son acception la plus générique, est l'objet d'étude qui supporte la transition dans le sens où l'on peut s'en saisir, la travailler, l'interroger, en discuter et faire ainsi avancer la discipline. À un moment donné, l'espace a sans doute aussi été un objet de cette nature. De la même manière, l'apparition d'organismes producteurs de statistiques a conduit à la mise à disposition de cas concrets, d'exemples sur lesquels discuter. C'est pour ces raisons je ne tiens pas à réduire le débat aux fractales. La démarche vers l'abstraction, vers la construction de concepts effectifs, est beaucoup plus importante pour la discipline.

### **Dominique Badariotti**

Je suis assez de l'avis de François Durand-Dastès : en termes d'indicateurs il n'y a pas de révolution avec les fractales. Il s'agit simplement d'un instrument supplémentaire, certes très puissant, qui permet de quantifier des formes et, éventuellement, de comparer les résultats obtenus à ceux que l'on aurait pu établir sur les mêmes formes avec des outils plus traditionnels tels que ceux qu'a développés Christine Turck. En termes de nouveauté, les fractales nous conduisent à penser différemment les objets géographiques, à les appréhender non pas comme des entités entières, mais comme des entités qui ont un contour infini ou la relation entre le périmètre et la surface est totalement différente de celle à laquelle on pense dans un cadre euclidien. Cela devrait nous permettre d'aller un peu plus loin dans notre discipline. C'est intellectuellement stimulant, on a envie de multiplier les analyses et c'est, je crois, quelque chose qui va nous permettre de voir le monde de manière un peu différente.

**Jean-Paul Ferrier,**  
*Université de Provence,*  
*UMR ESPACE 6012 du CNRS, Aix-en-Provence*

Si on remplaçait le terme « forme » par un autre, par le terme « mot » par exemple, et que l'on appliquait ce changement au titre de cet atelier, cela donnerait « l'instrumentation pour la reconnaissance et la construction des mots en géographie ». On aurait alors les deux pieds bien posés sur le sol théorique des géographes : l'un dans le champ des énonciations et l'autre dans le champs des figurations. Toutes les activités de recherche et même les activités artistiques possèdent aujourd'hui ces deux piliers grâce à la diffusion de l'informatique et à l'extraordinaire puissance de son imagerie. La différence en géographie, c'est que l'on dispose de ces deux piliers depuis très longtemps. Je voudrais donc ici, où l'on parle des formes, que l'on fonctionne analogiquement par rapport à la question des mots et au travail de théorisation de ces mots. Je pense que la question de fond consiste à s'interroger sur les façons de penser autrement les objets

géographiques en mettant en discussion les mots et les formes, ainsi que les démarches qui sont ici présentées.

Comme cela a déjà été rappelé, il existe une batterie d'outillage permettant de créer ou de traiter des mots, des formes et des nombres qui ne se maintient pas au cours du temps. Les coefficients de variation, par exemple, ne sont maintenant plus employés. Ils offrent pourtant la possibilité de faire des discriminations tout à fait intéressantes afin de montrer les transformations de structures particulières. Or, notre travail de géographe consiste, aussi, à conserver un ensemble d'outils qui nous permet de travailler à la fois sur les mots et sur les formes, mais aussi sur les figurations, et à essayer de faire fonctionner les deux. Les fractales se prêtent très bien à cela : elles permettent d'avancer aussi bien sur les mots que sur les figurations, pour peu que l'on accepte de considérer que les nombres sont des mots particuliers.

Ce que je voudrais donc vous pousser à nous dire, c'est ce que la dimension fractale fait changer dans la prise de conscience de notre travail de géographe. Pour ma part, la manipulation d'opérateurs statistiques et de langages de programmation m'a fait prendre conscience d'un certain nombre de choses. C'est par cet intermédiaire là que j'en suis venu à m'intéresser aux mots en géographie en me disant que la logique interne qui était là devait être ailleurs. J'ai par la suite trouvé ce que je cherchais car il y a une tradition occidentale extrêmement puissante qui travaille sur les textes et que l'on peut mobiliser, qu'elle soit philosophique ou religieuse ; au départ elle était certainement les deux. Je pense qu'à partir de cette prise de conscience on découvre ou on construit d'autres objets géographiques qui nous emmènent éventuellement à poser d'autres questions et à instaurer des processus pour soumettre à réfutation ces questions. Cela nous emmène aussi à formuler d'autres projets de connaissances. Je voudrais donc savoir en quoi le travail sur la forme vous fait intuitivement quelque chose de plus.

### **Philippe Martin**

La question est difficile. On peut tenter d'y répondre à l'aide de l'exemple de la fractale déterministe classique du flocon de Von Koch. Il s'agit d'un objet qui ressemble à une île, avec une surface finie, mais avec un périmètre, une limite, qui sont de longueur infinie. Un tel objet met à terre la façon mécanique habituelle de penser le monde.

### **Henri Chamussy**

Le paradoxe de Cantor, né à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, était du même type.

### **Philippe Martin**

Il est vrai que les objets de ce type datent de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, période à laquelle ils étaient considérés comme des monstres et ont été mis de côté par les mathématiciens qui ne savaient qu'en faire. Ce n'est que plus tard qu'ils ont été intégrés dans l'ensemble plus

vaste qu'est la géométrie fractale. Cela pourrait nous faire rebondir sur le principe de rupture par rupture, mais je crois que Jean-Paul Ferrier a tout à fait raison. Il nous fait toucher le point essentiel. La géométrie fractale permet de rendre compte de ce qui est cristallisé (ou au moins déployé) dans l'espace. Elle permet de rendre compte d'une dimension qui était peu goûtée jusqu'à présent. En plus, on y gagne la dimension d'objets qui n'ont pas une teinture occidentale, qui ne sont pas cartésiens au sens habituel du terme et qui ont des caractéristiques qui, dans une perspective classique, pourraient être qualifiées de « bizarres ».

Tous ces éléments sont des aspects de ce que l'on appelle aujourd'hui la complexité. Les théories de la complexité emploient des concepts issus du chaos déterministe comme l'incalculabilité du devenir d'un système ou la sensibilité aux conditions initiales. Autrement dit, elles introduisent toute une gamme de visions du monde fondamentalement différentes de celles qui ont supporté le discours sur le monde tenu jusqu'à présent. Nous prenons ainsi peu à peu conscience d'être dans un monde de l'irrégulier, de la bifurcation. Nous prenons conscience que notre volonté, quelle que puisse être sa puissance, ne pourra s'imposer. C'est bien là le fond de la question. Pour nous géographes, qui avons à modéliser cette interface terrestre sur laquelle nous vivons, il y a là matière à travail pour des études très appliquées (de caractérisation) mais aussi et surtout pour faire advenir une transformation de la façon dont nous pensons le monde. Un objet fractal est un support de dynamiques particulières. La courbe qui le définit a une dimension toute autre de celle que peut avoir la frontière ou la ligne dans une approche géographique plus classique où ces dernières sont comprises comme quelque chose qui coupe, différencie ou marque une discontinuité.

Nous sommes ici loin des considérations relatives à la technicité. Parce que celle-ci sera de toutes façons absorbée et digérée, elle me semble moins importante que le déplacement du regard et induit par ces conceptions inhérentes à la géométrie fractale.

### **François Durand-Dastes**

Je n'ai aucune ironie vis-à-vis des modes : une nouvelle approche arrive et on l'importe dans la discipline, c'est très important à condition évidemment d'en revenir. D'autre part, parmi les instruments nouveaux, qu'ils soient matériels ou intellectuels, il y en a qui réussissent et d'autres pas. Aussi, je pose la question : pourquoi les fractales font-elles une percée alors que d'autres outils, comme la logique floue, n'intéressent personne ? Il me semble pourtant que la logique floue devrait être extrêmement importante pour les géographes, car en géographie, justement, les limites sont floues. On ne peut pas invoquer la difficulté technique pour expliquer cette différence puisqu'il est, par exemple, plus difficile d'expliquer le krigeage à des

étudiants que les dimensions fractales. Enfin, s'il faut certes ouvrir des perspectives de travail, je me méfie du lyrisme et je trouve que cette tendance est présente dans certains discours sur les fractales alors que le but c'est quand même de trouver du rationnel.

### **Dominique Badariotti**

Si les sous-ensembles flous ne percent pas en géographie il est possible que ce soit parce qu'ils s'inscrivent dans une approche basée sur une notion de continuité dans l'espace et de transition entre un état et un autre état, alors que les fractales relèvent plus d'une logique de rupture et de discontinuité qui est peut-être mieux entendue par les géographes.

Je pense, d'autre part, que mêmes les indicateurs fractals basiques nous permettent de voir différemment les choses sans pour autant nous emmener dans des sphères très élevées. Ils ne nous conduisent pas nécessairement à penser la complexité uniquement à travers les fractales ni ne nous empêchent d'aller vers d'autres disciplines ou vers des phénomènes plus dynamiques. On peut aussi se contenter d'avoir des mesures plus concrètes de la réalité dans laquelle on vit tous les jours et d'exprimer cette réalité différemment. J'aimerais bien, par exemple, savoir ce que donnerait un calcul de densité de population basé sur une surface fractale de la ville, plus proche de la réalité qu'une surface euclidienne. Avec des approches concrètes de ce type là, je pense que l'on serait déjà emmené à voir un peu différemment la ville et les gradients de densité qui s'y trouvent.

### **Franck Auriac,** *Université d'Avignon*

J'ai pris au vol l'expression de causalité formelle et il me vient des réflexions qui ne passent pas forcément par les fractales ou les ensembles flous. Quel curieux abandon de la géométrie en géographie ! Il faut quand même bien rappeler que le modèle de Christaller ce n'était pas n'importe quoi et qu'il nous conduisait à interpréter de manière fonctionnelle des formes liées à

des processus incontestables : effet d'un pôle quelque part, manière dont ces effets se diffusent, effets d'attractivité également et cela avec des résultats qui sont non négligeables. Vous m'avez tous compris, je plaide pour que l'on n'oublie pas la modélisation graphique qui en résulte. Parce que parler de forme sans parler de graphie, sans parler de géométrie ou de manière de mettre en ordre ce qui est graphique me gêne quand même un peu. Mais c'est un autre discours.

### **Philippe Martin**

Pas du tout, des travaux américains ont démontrés que l'organisation de type Christaller de l'espace était une structure fractale. Elle correspond à une cristallisation dans un espace géographique un peu particulier d'un modèle fractal. Maintenant que l'on sait cela, on peut aller plus loin que ce que l'on pouvait faire avec une approche seulement graphique.

### **Christiane Arbaret-Schultz,** *Université Louis Pasteur, Strasbourg* *Laboratoire Image et Ville*

Je voudrais prolonger sur cet autre regard qu'apportent les fractales avec l'exemple du réseau RER où l'on décide consciemment de certaines formes, mais où il se révèle en définitive que l'on est conduit par ses formes parce qu'elles ont une structure fractale. Qu'est-ce que nous apporte cet autre regard au-delà du fait que nous conduisons des formes qui nous conduisent ? Est-ce que les fractales nous permettent de réfléchir sur cette question importante de l'autonomie ? Ou bien cet exemple du métro révèle-t-il encore autre chose ?

### **Philippe Martin**

Cela œuvre en fait toute la question des processus sans sujets et là il faut aller voir chez des philosophes tels que J.P. Dupuis. Pour conclure je dirai que c'est quand même beau une fractale, ce qui explique aussi un peu de l'intérêt qu'on leur porte.