

**Géoforum – le 20 juin 2012**  
**Maxime Forriez**

***Plan de l'intervention***

Introduction

- (1) Définir fractale et relativité d'échelle  
Insister sur leur distinction fondamentale  
Rappeler que le but est de mesurer des phénomènes scalaires
- (2) Peuplement et échelles
- (3) Quantification des échelles du peuplement + théorisation via la relativité

d'échelle

Objectif : « améliorer » la géographie théorique dans ce domaine

I. Fractale et relativité d'échelle

Comment intégrer les fractales dans une théorie des échelles cohérente ?

=>Montrer qu'il est très difficile de raccrocher aux autres travaux sur les fractales en géographie qui n'ont pas cette approche théorique

=>Le sujet est la relativité d'échelle, et non les fractales

II. Echelles et population humaine

Des niveaux aux constantes d'échelle

Le cas de la population

Méthodes d'analyse d'échelles généralisées

III. Etude d'un cas (à choisir)

Conclusion

(1) C'est une géographie théorique plus large par rapport au sujet du peuplement

(2) Constantes d'échelle => utilité pour l'aménagement du territoire ?

## Intervention

### *Introduction*

Je tiens en première remarque remercier les organisateurs de ce concours pour m'avoir permis de présenter mon projet aujourd'hui.

Le texte que j'ai présenté à ce concours se positionne dans un cadre théorique très précis : la continuité de mes travaux de master et de doctorat sur la relativité d'échelle en géographie. La liaison « en » est fondamentale, car la théorie de la relativité d'échelle est suffisamment large pour accueillir les positions et les questionnements de la géographie sur l'analyse en et des échelles.

Appartenant à l'école de l'analyse spatiale, il faut se donner les moyens de quantifier et de mesurer ces phénomènes en échelles. Pour ce, j'ai eu besoin d'utiliser la géométrie fractale qui est l'unique outil mathématique existant actuellement permettant de le faire. A côté, la relativité d'échelle se pose en cadre explicatif de cet outil à travers une explication de l'indépendance d'échelle (cas non fractal) et de la dépendance d'échelle (cas fractal), ou pour reprendre le jargon géographique, les cas où il n'existe pas de dépendance entre les niveaux géographiques et les cas où il en existe.

De ce fait, avant de commencer toute analyse, il faut insister sur la distinction entre fractalité, qui est l'outil de mesure, et relativité d'échelle, qui est la théorie explicative de ce phénomène de fractalité, ce qui signifie qu'une **mesure fractale n'implique pas que l'on fasse de la relativité d'échelle**, ce qui rend très difficile la comparaison avec d'autres travaux sur les fractales en géographie.

Pour montrer l'intérêt de la relativité d'échelle en géographie, j'ai choisi d'étudier la répartition de la population à l'échelle de la planète dans un objectif théorique et méthodologique. Il suffit de lire n'importe quel manuel de géographie de la population pour percevoir une dépendance de la répartition observée en fonction du niveau d'observation géographique. **Une simple mesure fractale n'explique pas cette relation**. Il m'est donc apparu nécessaire d'utiliser la théorie de la relativité d'échelle.

Mon propos se résumera en trois grandes questions. Comment intégrer les fractales observées en géographie dans une théorie des échelles cohérente ? Comment mettre en œuvre relativité d'échelle et géographie du peuplement ? Comment proposer une théorie relativiste d'échelle de la géographie du peuplement ?

### *I. Fractale et relativité d'échelle*

Il m'a été conseillé de rappeler ce qu'est un objet fractal. J'ai l'habitude de donner la définition suivante : « est fractal tout objet dépendant explicitement d'une échelle observation » [Diapo 1 : films]. En cartographie, on appelle cela la généralisation cartographique [Diapo 2 : schéma de Cuénin]. Sur ce graphique, vous pouvez constater la transformation d'un trait de côte en fonction de la résolution de la carte. La géométrie fractale apporte une liaison mathématique entre ces différentes structures. La variable d'échelle la plus utilisée reste la **dimension fractale**. Reste à être en mesure de l'estimer.

La méthode la plus simple et la plus efficace pour mesurer une dimension fractale reste la méthode par comptage de boîtes carrées. D'abord, pour savoir si l'objet analysé est fractal, on pose une série de grilles à mailles carrées dont la taille du côté de ces carrés est appelée **résolution** (autre variable d'échelle) [Diapo 3 : mettre le schéma de comptage]. N.B. Les grilles ne sont pas obligatoirement dyadiques. Ensuite, on reporte la résolution avec le nombre de carrés comptés se rapportant à cette résolution. On reporte autant de couples que de grilles appliquées dans un graphique bilogarithmique. Remarque : par habitude, j'utilise le log népérien, car le log décimal complique inutilement les calculs. Enfin, les résultats de ce

report peuvent être très variés, mais, dans le cas le plus simple, on trouve une droite dont la pente est appelée **dimension fractale**. Une précision s'impose : il existe plus de cas où cette dimension est variable que constante. Jusqu'à présent, on compliquait les outils mathématiques pour arriver à évaluer ces variations, et cela a donné ce que l'on appelle la multifractalité. La relativité d'échelle permet d'éviter cette machine monstrueuse en posant un cadre théorique aboutissant à la création d'autres variables d'échelle que la dimension fractale ou les résolutions.

La relativité d'échelle a été inventée par L. Nottale, qui co-dirigea ma thèse. Ici, le terme « relativiste » doit être entendu dans son sens einsteinien. A savoir que tout objet, entité, structure, dépend d'une référence, d'un référentiel. Appliqué aux échelles, cette idée se transcrit par « les lois de la nature sont valables pour tous les systèmes de coordonnées (référentiel classique), quel que soit leur état d'échelle (référentiel des échelles) ». Pour ce, la relativité d'échelle repose sur trois grands principes : le principe de relativité d'échelle, le principe de covariance d'échelle et le principes d'équivalence d'échelle. Cités ici pour mémoire, ce sont ces principes qui démontrent et expliquent les cas de fractalité sous forme de loi d'échelle des variables d'échelle.

On peut alors proposer trois cas : [**Diapo 4 : diagrammes possibles résultant d'un comptage de boîtes**]

- (1) le cas de fractalité simple
- (2) le cas de fractalité « complexe »
- (3) le cas de fractalité variable

(1) et (2) : la ou les dimensions fractales restent constantes.

(3) : la dimension fractale devient une fonction dépendant d'autres paramètres.

## ***II. Echelles et peuplement***

Je ne m'attarderais pas sur la source des données utilisées (Tagéo), car mon propos est davantage méthodologique que présentant des résultats définitifs et absolus. Les données datent de 2007-2008.

J'ai filtré mes données originelles de sortes que l'on puisse trouver une loi rang-taille continue entre le lieu le plus peuplé et le lieu le moins peuplé [**Diapo 5 : carte + mesure fractale**]. D'un point de vue sémiologique, cette carte n'est pas bonne puisque chaque lieu représente une population supérieure ou égale à 144 300 habitants. Néanmoins, si l'information ne vous est pas visible, elle est conservée dans les matrices servant à faire les calculs qui suivront. Au total, on compte 2 668 lieux et 1,5 milliards d'habitants.

On mesure une dimension fractale, et on obtient un modèle transitionnel (cas de fractalité « complexe »). Il est intéressant de constater sur ce graphique que nulle part on ne retrouve les niveaux classiques avancés en géographie : il n'y a aucune discontinuité entre le niveau mondial et le niveau continental, le niveau continental et le niveau étatique, etc.

$$D = 0 \text{ et } D = 1,456 \pm 0,009$$

Néanmoins, cette mesure reste une approche globale. Il est difficile de croire que, en toute case de la carte du monde, on trouve une dimension fractale identique. Logiquement, la dimension fractale de la mer est nulle, puisque qu'il n'y a pas d'habitants. Il m'est alors venu l'idée de localiser les dimensions fractales pour voir si on retrouve en tout lieu cette constante. Pour ce, j'ai calculé une dimension fractale à l'intérieur de chaque maille d'une grille déterminée. Cela étant, chaque maille possède un certain nombre de lieux dont on connaît le nombre d'habitants, donc chaque maille possède également un nombre d'habitants qui lui est propre.

[**Diapo 6 : diagrammes 3D dim et pop**] Je résume chaque maille est associée à un nombre d'habitants et une dimension fractale dite localisée (pour ne pas la confondre avec la

dimension fractale globale de la structure étudiée). Différentes études m'ont conduit à remarquer que l'information la plus intéressante se trouve dans une grille proche de l'échelle de transition. On se retrouve alors dans un cas de fractalité variable entre nombre d'habitants d'une maille et dimension fractale localisée.

Quelle est la nature de leur relation ? **[Diapo 7 : relation entre  $P$  et  $D$ ]** Une relation linéaire ressemblant à la loi d'Ohm  $U = RI$ . Par analogie, la valeur 2,883 sera appelée « **résistance d'échelle** ». Pendant un an et demi, je me suis demandé à quoi pouvait-elle correspondre ? J'ai alors constaté que 2,883 s'arrondissait en 3, or ce trois correspond au nombre de foyers de peuplement que l'on peut observer à l'échelle mondiale (Europe, Inde, Chine orientale).

Autrement dit, c'est, à ma connaissance, la première fois que la géographie pourrait prendre une posture purement théorique, puisque, à partir de deux valeurs, on pourrait en déduire la troisième. Le texte proposé montre que la relation  $D = RP$  se retrouve aussi bien au niveau mondial qu'au niveau continental ou étatique. On arrive donc à une théorie relativiste d'échelle du peuplement humain unissant :

(1) une variable d'échelle :  $D$

(2) une variable de la répartition spatiale :  $R$ , dénombrant un nombre de concentration observable

(3) une variable localisée (celle que l'on étudie) :  $P$

le tout, répondant à des critères relativistes tels que le niveau géographique retenu pour faire la mesure.

Néanmoins, il faudrait vérifier tout cela sur une base de donnée moins problématique que Tagéo.

### **III. Exemple de la Haute-Normandie** [A voir : les calculs sont longs et très lourds]

J'ai découvert récemment une base de données qui se prête assez bien à ce type d'analyse, car les données s'organisent suivant un carroyage carré de 200 m. C'est la base INSEE 2009 de la répartition de la population. Pour faire honneur à l'université qui reçoit, j'ai choisi de vous montrer l'analyse de la Haute-Normandie.

**[Diapo 8 : carte] [Diapo 9 : relation entre  $D$  et  $P$ ]**

### **Conclusion**

Je vous ai présenté mes résultats temporaires sur le peuplement humain, mais j'ai également appliqué la relativité d'échelle à d'autres champs de la géographie tels que la géographie physique (topographie et hydrographie) ainsi qu'en géohistoire (construction des territoires).

La relativité d'échelle offre une méthode d'analyse très générale ainsi qu'une nouvelle voie théorique à la géographie. Cela permettra peut-être un regain de l'aménagement du territoire.