

Rapport sur la soutenance de la thèse de Maxime Forriez
Caractérisation formelle des structures multi-échelles géographiques en relativité
d'échelle.

Pour l'obtention du titre de Docteur en Géographie de l'Université d'Avignon

Avignon, le 17 juin 2010

Monsieur Maxime Forriez, après avoir remercié ses deux directeurs, présente son travail comme une réflexion épistémologique générale sur les échelles en géographie. Il rappelle le parcours qui a contribué à développer cet intérêt, avec des formations en mathématiques et en droit public, un DEUG d'histoire et un master de géohistoire, avant un colloque sur les fractales en géographie en 2003, et la rencontre avec Laurent Nottale qui a conduit à la réalisation de cette thèse. Il rappelle avec clarté et concision les principaux apports de son travail, visant à transposer la théorie de la relativité d'échelle en géographie, dans ses cinq dimensions, au moyen notamment d'analyses de la transition fractal-non fractal par une approche des morphologies topographiques, hydrologiques ou urbaines, tout en signalant ses réalisations en programmation avec le logiciel Mathematica.

Monsieur Philippe Martin, Professeur à l'Université d'Avignon, directeur de la thèse, prend la parole en ces termes : « Si une thèse est toujours un pari, celle que nous propose Maxime Forriez fut un pari risqué, aujourd'hui gagné, qui débouche sur un travail atypique ouvrant de nombreuses perspectives. L'objectif était de voir dans quelle mesure il était possible d'intégrer au corpus géographique une théorie astrophysique, en faisant fi des divisions classiques entre géographie physique et géographie humaine ; cette théorie devant apporter des éléments essentiels à la constitution d'une approche formelle d'essence fractale fondée sur des principes universels comme celui de relativité au sens einsteinien du terme, à notre discipline.

S'il s'agit bien évidemment d'un collage improbable entre deux approches et deux disciplines qui n'ont guère l'occasion de travailler ensemble, l'objectif de s'engager sur la voie d'une théorisation formelle en géographie en instrumentalisant ce vieil outil de notre discipline qu'est l'échelle, mais aussi en faisant fond sur le très ancien problème, en particulier pour les géomorphologues, de la forme et plus largement de la morphogenèse, est un but ancien de la géographie.

Pour ce faire, Maxime Forriez a bénéficié d'une bourse d'allocataire moniteur de 3 ans dont il a souhaité, ce qui n'est pas courant en SHS, respecter scrupuleusement le terme. Cela a conduit à quelques imprécisions et coquilles qu'une édition à venir corrigera facilement.

Sur le fond cette thèse a permis de montrer l'applicabilité de la Relativité d'Échelle (RE) de L. Nottale (co-directeur de ce travail) à quelques problèmes géographiques choisis dans différents champs, mais sans qu'il soit ici question de travaux thématiques spécifiques dont les développements sont aujourd'hui aussi possibles en utilisant des concepts nouveaux pour la géographie comme celui de transition fractal – non fractal, de variable d'échelle ou encore d'accélération d'échelle, mais à la condition de porter une attention particulière à l'attribut (courbe de niveau, position de lieux, bâti urbain, etc.), aussi spécifique que possible, utilisé pour la mesure de la dégradation de l'information dans l'ordre des échelles.

Pour ce faire, il a été nécessaire à Maxime Forriez de maîtriser le formalisme largement fondé sur des équations différentielles d'échelle de la RE et de rédiger de nombreux programmes sous Mathematica qui constituent aujourd'hui un fond commun utilisable pour d'autres recherches plus thématiques ; tous ces éléments permettant de souligner les qualités de chercheur de l'impétrant qui a fait preuve d'intuition, de créativité et d'une belle continuité dans l'effort.

S'il y a un point, peut-être, qui doit encore être souligné à l'issue de ce travail, c'est que s'il donne des bases solides pour aller vers un développement théorique en géographie, il n'en montre pas moins, aussi, que l'organisation scalaire de l'établissement humain – et les travaux sur Montbéliard et sur la distribution du peuplement à différentes échelles l'indiquent bien – échappe grandement à la conscience humaine dans la mesure où la structuration scalaire de ces distributions spatiales de lieux humainement occupés n'a pas été voulue.

Il y a donc là, pointé à nouveau (cf. les processus sans sujet), mais sur d'autres bases, un questionnement fondamental qui engage toute la problématique des rapports de l'homme et de la nature, mais aussi toute l'efficacité des schèmes modernes à partir desquels nous raisonnons. C'est donc une vaste question dont il est remarquable que certains de nos grands devanciers en aient senti les prémisses.

Sur ces bases, je ne peux donc qu'adresser mes félicitations à l'impétrant et recommander fortement son élévation au grade de Docteur de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse ».

Monsieur Laurent Nottale, Directeur de recherches au CNRS est co-directeur de la thèse avec M. Philippe Martin. Il s'est agi d'un projet profondément interdisciplinaire, impliquant un transfert de connaissance depuis la physique théorique vers la géographie. Cette démarche était d'autant plus originale et courageuse que le champ considéré, la théorie de la relativité d'échelle, est lui-même relativement nouveau en physique. La question des échelles étant centrale pour la géographie depuis toujours, les principes, concepts et méthodes d'une telle théorie, qui prend en compte de manière explicite la dépendance en fonction de l'échelle des grandeurs étudiées, s'imposaient cependant comme applicables et utilisables de manière naturelle en géographie. Cela a demandé à M. Forriez un important travail d'apprentissage de méthodes mathématiques, en particulier du calcul différentiel et intégral, qui n'est pas couramment utilisé en géographie. A cela s'est ajoutée la difficulté conceptuelle de considérer des équations différentielles (aux dérivées partielles) qui décrivent non plus seulement les déplacements et le mouvement dans l'espace, mais aussi et surtout -- et c'est là une des originalités du projet -- les lois de changement d'échelle. M. Forriez a montré à cet égard des qualités remarquables de compréhension et de maîtrise de ces outils physico-mathématiques et de leur sens profond, puis a su les appliquer avec une grande efficacité dans son propre champ, ce qui a produit de nombreux résultats originaux et découvertes.

Pour obtenir ces résultats, M. Forriez a acquis et développé un autre type de maîtrise, celui des méthodes informatiques d'analyse des données à travers l'utilisation de logiciels avancés tel Mathematica. Ce travail a impliqué un autre type de transfert de connaissance, comprenant entre autres la programmation, les méthodes statistiques d'ajustement de données sur une loi théorique, l'estimation de la signification statistique d'un tel ajustement, les tests d'hypothèse, la prise en compte des barres d'erreur et incertitude, etc...

Là encore l'engagement, l'enthousiasme, la continuité dans l'effort et les nombreuses autres qualités de M. Forriez se sont révélés de premier plan. Il a obtenu la maîtrise de toutes ces méthodes et outils d'analyse avec une rapidité exceptionnelle, ce qui lui a permis de les appliquer ensuite avec une grande efficacité et de manière convaincante aux données géographiques, et de mettre à l'épreuve de ces données les modèles issus des approches théoriques (fractals, multifractals, lois d'échelle, relativité et covariance d'échelle).

Cette thèse revêt donc un caractère exceptionnel, car relevant des deux champs d'une véritable géographie théorique et d'une géographie quantitative, et de leur interaction. En un temps remarquablement court de moins de trois ans (anticipé par son travail préparatoire et les résultats déjà exceptionnels obtenus lors de stages au cours de ses études préalable à la thèse), cette combinaison idéale de modélisation fondée sur une approche théorique fondée sur des principes premiers et d'analyse statistique de données géographiques permettant de tester ces

modèles lui a permis d'obtenir de nombreux résultats originaux, hautement statistiquement significatifs et dont certains sont d'authentiques découvertes. Citons entre autres la validation du caractère systématique de l'existence en géographie de transitions entre régime fractal (dépendant d'échelle) et non-fractal (indépendant d'échelle) ou entre dimensions fractales différentes (forme de multifractalité), le sens géographique qui a pu être donné ou anticipé pour ces transitions, ainsi que de variations continues de la dimension fractale (l'invariant n'étant plus la dimension fractale elle-même mais sa dérivée) et de combinaison dans les mêmes données de ces différents comportements génériques attendus en relativité d'échelle. Pour toutes ces raisons M. Forriez semble d'après Laurent Nottale mériter d'obtenir le titre de Docteur ès Sciences Humaines et Sociales (spécialité: géographie) et de recevoir des félicitations pour son travail remarquable et de tout premier plan.

Pour le **Professeur André Dauphiné, de l'Université de Nice**, la thèse de Maxime Forriez est très novatrice pour au moins trois raisons. D'abord, après avoir très bien retracé l'histoire des travaux consacrés à la fractalité des objets géographiques il applique sa méthode à des exemples très différents, et surtout il apporte toujours un plus aux travaux antérieurs. Par exemple, pour le réseau des Gardons, il analyse avec une grande précision la limite fractal-non fractal, rarement observée dans les recherches antérieures, et pour le chapitre sur Avignon, il fait varier la résolution, ce qui est rarement le cas dans la plupart des études de ce type.

En outre sa thèse démontre l'intérêt des lois log-périodiques, notamment pour étudier les phénomènes extrêmes, les risques. Par rapport aux études qui définissaient ces phénomènes en relation avec l'écart-type ou par des lois spécifiques (Weibull, Fréchet), il montre l'intérêt de ces lois log-périodiques, qui permettent de modéliser toute une série et non pas les seules valeurs extrêmes, ce qui est déjà considéré comme essentiel dans d'autres disciplines, notamment quand on étudie le risque sismique. Le potentiel prévisionnel de ces lois, très important, est bien souligné.

Enfin, c'est la première thèse de géographie qui mobilise la théorie de la relativité d'échelle pour rendre compte des phénomènes géographiques, qu'ils soient d'origine physique ou d'origine humaine. La présentation de la théorie et son application avec de multiples exemples sont bien conduites.

Certes, quelques lacunes peuvent être soulignées, notamment dans la dernière partie qui ne tient pas assez compte des travaux des devanciers, parfois absents de la bibliographie. Mais, cette véritable thèse pionnière est un bel exemple de recherche sur les théories de la complexité et leur emploi potentiel en géographie. Le candidat est un exemple de jeune chercheur dynamique n'hésitant pas à investir dans des thématiques neuves et difficiles à maîtriser. Cette originalité et cette maîtrise méritent d'être reconnus.

Monsieur Patrice Abry, Directeur de recherches au CNRS à l'ENS de Lyon, juge remarquable le travail de thèse de M. Forriez, et ce à au moins deux égards: les données analysées, la contribution méthodologique.

Les corpus de données analysés dans ce travail, d'abord, sont impressionnants et par leur volume, et par la diversité de leurs natures.

Le chapitre 6 décrit l'analyse morphologique du réseau du bassin des Gardons. Il s'agit, à partir de la base de données Carthage d'extraire la structure hydrographique de ce bassin pour en analyser les propriétés d'invariance d'échelle (et la structure arborescente). La matière à traiter consiste donc ici en une image binaire de ligne (formant un réseau). Les images

Landsat permettant d'extraire le centre urbain de plus de 100 villes dans le monde, analysées au chapitre 8, consistent elles en l'étude du caractère fractal (ou non) d'une frontière délimitant les régions d'une image binaire. Les données rendant compte de la répartition des châteaux se présentent sous la forme d'une distribution de points sur une image (ou processus ponctuels à deux dimensions) dont la structure est analysée (chapitres 12 à 14). Enfin, les données TAGEO traduisant la répartition de la population (par ces centres urbains) sur le globe et consistent ainsi en un processus ponctuel (localisation dans l'espace) étiqueté (densité de population). Il est tout à fait remarquable que les analyses d'invariance d'échelle conduites dans ce travail sur des données aussi diverses en nature et en forme le soient avec des approches conceptuelle, démarche scientifique et outil pratique aussi cohérents et maîtrisés.

La contribution méthodologique ensuite mérite d'être soulignée et saluée. L'analyse fractale (ou d'invariance d'échelle), quoique séduisante conceptuellement, se heurte en géographie, comme dans de nombreuses autres disciplines, à d'importantes difficultés lors de la mise en oeuvre pratique sur des données réelles. Notamment, la dimension fractale mesurée apparaît dépendre fortement de la gamme d'échelle analysée et/ou de la résolution des données disponibles. Dans ce travail, M. Forriez s'approprie et met en oeuvre le cadre formel de l'invariance d'échelle généralisée pour analyser ces éventuelles variations comme un élément constitutif intrinsèque de l'analyse de l'invariance d'échelle et l'interpréter dans le cadre de la géographie. Le chapitre 4 résume de façon efficace et bien comprise le matériel théorique relatif à l'invariance d'échelle généralisée et propose également une revue et des réflexions pertinentes relatives à la technique de comptage de boîtes, brique de base dans l'analyse fractale. L'analyse de la frontière fractale du centre urbain de la ville d'Avignon via une série d'images dont les résolutions sont différentes (chapitre 8) est lumineuse, illustrant une relation subtile entre résolution des données, échelles d'analyse et variations de la dimension fractale. L'interprétation de cette dépendance, comme un moyen d'évaluer la pertinence et le bénéfice de disposer de cartes mieux résolues, est remarquable et susceptible d'être transposée à d'autres disciplines. Le fait qu'à la fois le même cadre conceptuel et les mêmes outils de mesure (l'interaction entre dimension globale et dimension locale notamment) soient utilisés sur des données différentes en nature et structure, témoigne du succès de la démarche.

Ce manuscrit rend compte de plusieurs qualités du candidat. D'abord, celui-ci a su avec méthode collecter et/ou organiser d'importants corpus de données. Ensuite, il a montré une volonté assumée de prendre des risques dans l'entreprise scientifique, en utilisant le formalisme de l'invariance d'échelle généralisée. Ce formalisme original reste encore peu utilisé par l'ensemble de la communauté scientifique et ses appropriation et mise en oeuvre, pour l'analyse de données expérimentales réelles, constituent en soi une contribution scientifique originale et significative.

Le manuscrit de thèse constitue un ensemble imposant de plus de 400 pages, organisé en 4 parties et 20 chapitres. Malgré son impressionnant volume, la lecture en est rendue agréable et aisée par une écriture précise, documentée et bien organisée. Les analyses effectuées sont étayées de très nombreux graphiques et illustrations permettant d'en suivre précisément la démarche et le détail. La totalité des mesures effectuées est disponible sur un support électronique joint en annexe et de navigation aisée.

Monsieur Guy Lobrichon, Professeur à l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, reprend en rappelant que Mr. Maxime Forriez, après avoir présenté le cadre théorique de son enquête, a construit sa démonstration sur l'efficacité d'un outil contemporain du géographe en méditant sur trois échelles différentes : l'étude morphologique des Gardons, l'analyse spatio-temporelle des mottes « féodales » de Picardie et le brassage multi-scalaire de la population mondiale. C'est naturellement le second objet étudié qui justifie l'intervention d'un historien, médiéviste de surcroît, dans le jury. M. Forriez a ordonné les quatre parties de la thèse selon une

inflation agréable, équilibrée, passant de 50 pages à 80, puis 90, enfin 115 pages., pour aboutir à une bibliographie intéressante et des annexes utiles. Mr. Forriez présente un travail soigné, de belle qualité formelle. On y découvre quelques scories (rarement orthographiques, ce qui mérite hommage aujourd'hui), des curiosités, comme la mention de travaux bizarres réalisés par un certain Vitruve en 1999 (p. 149) ou par un savant du nom de Léonard de Vinci en 1949 (p. 89) dont on comprend bien qu'il ne s'agit pas de géographes d'aujourd'hui, mais bel et bien de savants insoumis à la triste temporalité et bénéficiaires de rééditions incessantes (p.385). Si la bibliographie de 330 titres ne suit pas les usages des historiens, le candidat s'en est clairement expliqué, montrant sa maîtrise de la variabilité des régimes scientifiques. L'information en langues étrangères— sur les travaux soit menés à l'étranger, soit publiés dans des supports internationaux, paraît de bon aloi et dans la moyenne des usages universitaires français : on compte 64 titres en langue anglaise (19%), 2 en allemand, 1 en espagnol, le reste en français, ce qui témoigne d'un réel dynamisme de la recherche personnelle, attentive en outre aux approches interdisciplinaires : mathématiciens, physiciens, historiens, y côtoient en bonne intelligence les géographes et cela rassure sur la bonne santé de la recherche.

La thèse de M. Forriez, formaliste dans sa construction, méthodique et pédagogique, prend souvent l'allure sans complaisance d'un manuel pour des étudiants : cela peut être considéré comme une erreur tactique. Le rapporteur apprécie néanmoins le souci du candidat à situer sa recherche dans une durée, notamment grâce à d'intéressantes perspectives sur les années 1970, qui ont introduit des bouleversements majeurs dans la pratique scientifique. Il demande à M. Forriez d'expurger son discours d'approximations trop faciles, de ne s'autoriser ni la disqualification de théories comme celles de Roger Brunet au motif qu'elles seraient « marxistes » (« géographie marxiste » encore p. 370), ni la survalorisation des modèles mathématiques dont les errements récents du système financier mondial rappellent la fragilité, ni l'apologie d'une pieuse économie redistributive pour la planète Terre (curieuse page 37, montre le dérapage indu d'un niveau épistémologique à un autre niveau, philosophique et moral).

Les objectifs scientifiques de M. Forriez sont cependant audacieux : sans parler d'une tentative de redéfinition de la géographie aujourd'hui, G. Lobrichon ouvre un débat sur quelques points. Le premier point concerne les allers-retours entre théorie et application. C'est une question délicate qu'il faut confier au débat collectif, d'autant plus que des thèses récentes en histoire, histoire de l'art et en sciences humaines plus généralement, témoignent du goût des jeunes chercheurs pour la modélisation. La question est de savoir s'il en surgit un nouvel objet scientifique, géographique, historique, et d'en évaluer les applications possibles. La recherche scientifique ne saurait se plier aux impératifs du réalisme politique, mais elle doit donner des gages à la société qui la soutient.

Le second point porte, on s'en doute de la part de l'historien, sur la longue durée structurante du paysage en France du Nord, à propos de la répartition des mottes et châteaux en Picardie, « élément structurant important dans la localisation actuelle des villes et des villages français » (17). Cette partie (ch. 10), surprenante dans le discours du géographe (mais M. Forriez ajoute à ses compétences de géographe une solide formation d'historien), est particulièrement bienvenue et adéquate à un traitement par la géométrie des objets irréguliers ou lacunaires. Le candidat y fait preuve d'une solide information historique, affronte la géohistoire des royaumes francs avec une belle audace. Cela ne va pas sans simplifications excessives : la géostratégie de la Francie occidentale aux Xe et XIe siècle doit moins au politique et à la fragmentation du pouvoir qu'aux transformations du système de la parenté et de l'alliance (lignage reposant sur patrilinéarité, primogéniture mâle, patrilocalité et exogamie). On peut rester sceptique sur la validité d'une distinction claire dans l'esprit des médiévaux entre motte et *castrum* (p. 160-162) ; les médiévistes restent prudents, en particulier les archéologues qui préfèrent établir une différence entre la motte (Xe-XIe s.) et le château (XIIe et ensuite : deux types se succédant, le plus ancien polygonal avec une tour implantée dans l'espace intérieur -sans tour liée au tracé de l'enceinte, puis, à partir du XIIIe siècle, polygonal avec tours d'enceinte : exemples classiques de la Wartburg ou de Coucy).

La géohistoire et l'analyse spatiale, multi-scalaire, des mottes et châteaux, devrait être repensée désormais. Il faut cependant rappeler que l'élément structurant qu'est la « motte » s'insère dans une structure globale – la triade du château, de l'église et du cimetière : il s'agit d'une forme de groupement des hommes que les historiens ont identifiée et définie par le nom d'*incastellamento* (P. Toubert), ou « enchâtellement » (R. Fossier) et que, dans certaines régions il faudrait intituler plutôt « inecclésiamento » (M. Lauwers) ou « inchiesamento » (Fred Cheyette¹). Cet élément, resitué dans la durée, brise l'apparence de la continuité : un paysage est saisi d'un mouvement brownien dont l'observateur repère aisément l'origine humaine, politique (transformation, nouvelles assises des réseaux de pouvoir et compétition violente entre puissants), puis le mouvement se stabilise, cristallise². Les historiens obsédés par la primauté du politique se sont posés ici la question d'une mutation, voire d'une révolution, ou d'une adaptation, d'un ajustement; les catégories du continu/discontinu sont largement communes à toutes les sciences, notamment humaines et sociales et ne s'excluent jamais mutuellement. Les mouvements de contraction et de détente (diastole - systole) de l'espace politique de la France du Nord, superbement illustrés par les figures 91 à 96, p. 173-186) reposent sur le concept de limite spatiale ou de frontière. M. Forriez a eu parfaitement raison de mettre en doute la précision de ces limites (p. 189) ; pour les IX^e-XIV^e siècles au moins, les médiévistes ont convergé récemment en faveur d'une approche entièrement différente de la géohistoire, celle d'un système féodo-vassalique mettant l'accent sur les liens d'homme à homme, les réseaux humains, souples, des fidélités (ou des infidélités) plutôt que sur les circonscriptions (le fief néanmoins étant généralement doté, depuis le XI^e siècle, d'une définition spatiale, réelle).

M. Forriez montre une très grande prudence dans l'exploitation des données spatio-temporelles (p. 219), conduisant à recourir à une analyse fractale généralisée (ch. 13). La périodisation proposée réintroduit l'espace dans le temps : d'une période à l'autre, le nombre de châteaux diminue, la distance moyenne entre châteaux s'accroît (p. 233), tandis que l'espace qui les enveloppe se transforme. S'ensuit une corrélation claire d'une part entre structuration de l'espace habité et répartition des châteaux (p. 222) et, d'autre part, entre localisation des châteaux et constitution de nouvelles agglomérations (p. 228) : voilà qui rassure l'historien, l'*incastellamento* est validé. Mais demeurent des questions : 1) l'emprise spatiale est-elle toujours aussi clairement déterminée que ne dit M. Forriez ? 2) Le nombre des châteaux est-il toujours un indice d'agrégation et de pouvoir fort, ou, à l'inverse, l'indice d'une appropriation, privatisation du pouvoir par des seigneurs, au détriment du pouvoir princier ? 3) Enfin et, surtout, le choix de l'élément « église » ne serait-il pas plus probant et plus efficace pour la construction théorique que celui du château ?

Le rapporteur conclut en disant son admiration pour la rigueur de la démonstration et son plaisir à découvrir une tentative de réflexion fondamentale sur la géographie et sur l'une de ses voies les plus récentes, solidement représentée à Avignon. Pour M. Forriez, l'objet scientifique du géographe est le lieu, plutôt que l'espace (p. 372) : cette déclaration appelle la sympathie, même si l'historien frémit à l'idée que cette géographie s'affranchirait de son passé de science sociale (p. 374). Autant dire que cette thèse a l'ampleur rarissime d'une véritable thèse.

Monsieur Daniel Delahaye, Professeur à l'Université de Caen, tient tout d'abord à saluer l'ambition de cette thèse. Dans un contexte de généralisation des thèses « appliquées », se lancer dans un travail purement théorique n'est pas sans risque et requiert une capacité

¹ F. Cheyette, « Quelques réflexions sur la violence, la réconciliation et la 'société féodale' », dans M. Lauwers et L. Ripart, *Pouvoirs, Eglise et société dans les royaumes de France, de Bourgogne et de Germanie aux Xe et XI^e siècles (888-v. 1110)*, Paris, Hachette, 2008, p. 43-60, p. 46 en particulier.

² Voir aussi Benoît Cursente, « Autour de Lézat : emboitements, cospatialités, territoires (milieu Xe-milieu XIII^e siècle) », *Les Territoires du médiéviste. Histoire*, éd. Benoît Cursente et Mireille Mousnier, Toulouse, p. 151-167).

d'investissement conceptuel pluridisciplinaire qui n'est pas à la portée de n'importe quel étudiant qui débute une thèse. Certes Maxime Forriez s'écarte des sentiers battus mais si l'on considère que la recherche comme tout système évolue par ses marges, il faut encourager les jeunes chercheurs capables de mener des travaux aussi complexes et périlleux.

L'ambition de la thèse est assez bien résumée dans la question posée page 15 : *Est-il possible de trouver un formalisme théorique qui instrumente la fractalité afin d'expliquer les règles de niveau structurel qui expliqueraient les processus sans sujet à l'œuvre dans la constitution, par exemple, d'une ville ?*

Ce travail se démarque donc de l'approche empirique classique basée sur l'étude du fonctionnement des processus, tout au contraire, il postule que les processus sont contenus dans la structuration des formes. Pour comprendre cette structuration, il faut articuler le temps, l'espace et les échelles au sein d'une loi de portée universelle : la théorie de la relativité d'échelle.

La multiplicité des exemples traités et l'ampleur du corpus de données mobilisé pour transposer cette théorie, pour analyser la transition fractal/non fractal, pour étudier la variabilité de la fractalité à travers les échelles sont stupéfiantes pour un travail de thèse mené en trois années. Mais malheureusement parfois qui trop embrasse mal étreint et la démonstration est souvent émaillée de raccourcis saisissants ou laisse le lecteur sur sa faim.

On ne doit pas parler d'analyse morphologique du réseau hydrographique du Gardon dans le chapitre 6 sans intégration de la troisième dimension !

La variation de la densité de l'information (chapitre 6) ou la modification du pas de mesure (chapitre 13) ne peuvent pas être considérées comme des changements d'échelles !

Ces approximations ne sont pas anecdotiques car elles altèrent la pertinence globale du propos.

Le raisonnement ne s'appuie pas toujours sur une connaissance exhaustive des travaux antérieurs. Dans le domaine de la géographie physique, la bibliographie est lacunaire et s'arrête au début des années 2000. Pourtant beaucoup de choses ont été publiées récemment sur le sujet y compris en France (Cudennec, Fleurant, Hauchard...).

Des remarques peuvent également être faites à propos de l'utilisation des données et de leur traitement. Maxime Forriez utilise des bases de données variées (CARTHAGE, TAGEO, MAPPY...) sans réellement fixer les limites de leur utilisation et relativiser la qualité de l'information qui en est extraite. De la même manière, il généralise des résultats qui dans les faits mériteraient beaucoup plus de nuances. Dans le chapitre 13 « l'analyse fractale généralisée », l'auteur affirme que les pics de dimensions fractales « locales » permettent de localiser les centres urbains. L'exemple du nord de la France présenté dans la thèse ne confirme que très partiellement l'hypothèse. Certaines villes importantes ne présentent pas de pics de dimensions fractales et surtout beaucoup de pics ne correspondent pas à des centres urbains significatifs. Sans étude plus fine des résultats pour tester la robustesse de la méthode proposée la démonstration n'est pas valide.

Pour terminer son intervention Daniel Delahaye insiste à nouveau sur le caractère séduisant de la proposition théorique faite par Maxime Forriez dans sa thèse mais il insiste également sur la nécessité de renforcer l'argumentaire pour l'ancrer solidement dans le champ conceptuel de la géographie.

Madame Denise Pumain, professeur à l'Université Paris I, présidente du jury, dit sa satisfaction d'être associée au jury de cette thèse. Le sujet est passionnant et difficile, le candidat a su prendre le risque de se lancer dans une entreprise dont le succès n'était pas garanti. Le choix d'un travail à l'interface de plusieurs disciplines est un autre risque, dont il faut espérer qu'il ne pénalisera pas une carrière de recherche qui s'annonce prometteuse. En effet, Maxime Forriez témoigne dans ce travail d'une grande maîtrise dans la manipulation

des grandes bases de données géoréférencées, établies à partir de sources très diverses, historiques, images satellitaires, démographiques, et dans leur traitement au moyen principalement de méthodes statistiques. Un investissement conceptuel important a été consenti pour comprendre la théorie de la relativité d'échelle de Laurent Nottale et tenter d'en tirer des pistes pour l'analyse géographique. De ce point de vue, la thèse, fortement encadrée par ses deux éminents directeurs, apporte d'intéressantes clarifications de vocabulaire autour des notions liées à l'échelle et aux fractales. Elle illustre ces notions par une intéressante diversité d'exemples d'applications possibles. Cette richesse d'investigation a pour contrepartie un certain manque d'approfondissement ou de discussion des interprétations, qui ne sont pas toujours situées avec assez de pertinence dans le débat scientifique de la géographie. Ainsi, il est dommage que l'auteur ne se confronte pas davantage à une bibliographie des travaux qui ont porté en France et à l'étranger sur les concepts, les méthodes ou les données qu'il utilise. Il ne s'agit pas d'oublis mineurs qu'il est naturel de constater dans tout travail de thèse, mais de lacunes très importantes dans une orientation bibliographique qui ignore semble-t-il délibérément des travaux fondateurs dans les domaines explorés par le candidat. Cette posture amène des formulations douteuses, voire des erreurs de mise en situation de la recherche, qui incitent à recommander des mises au point complémentaires. L'exercice était d'autant plus périlleux que le candidat ambitionne rien moins que de refonder la géographie, il lui faudra sans doute auparavant améliorer sa culture sur l'épistémologie de la discipline. Cette carence induit en effet d'autres curiosités intellectuelles que l'on peut exprimer à propos des résultats de la thèse, qu'on aimerait voir plus systématiquement discutés et confrontés à ceux d'autres auteurs. La thèse offre un foisonnement d'exemples dans des domaines très divers, qui se présentent plutôt comme des « applications numériques » que comme des analyses suffisamment approfondies dans le domaine de recherche concerné. Madame Pumain critique par exemple le choix de la base Tageo pour analyser les distributions rang-taille, cette base qui reprend pour la délimitation des entités urbaines les limites communales ne permet pas d'analyser la distribution du peuplement mais celle des maillages administratifs. Il reste que les méthodes et les logiciels de traitement mis au point par Maxime Forriez sont pertinents, efficaces, et qu'ils restent très intéressants pour d'autres expérimentations dans le cadre de recherches plus assurées quant à leurs fondements théoriques en géographie.

Après délibération, le jury déclare Monsieur Maxime Forriez digne du titre de Docteur de l'Université d'Avignon avec la mention Très Honorable.

