

De l'utilité de la théorie de la relativité d'échelle de L. Nottale en géographie

Partie 2 : Application d'un modèle scalaire spatio-temporel

Forriez M.¹ Martin Ph.²

1 Université d'Avignon, case 17, 74 rue L. Pasteur, 84029 Avignon cedex. maxime.forriez@wanadoo.fr

2 Université d'Avignon, UMR ESPACE, case 17, 74 rue L. Pasteur, 84029 Avignon cedex. phmartin@club-internet.fr

Mots clés : Modèle linéaire log-périodique, espace-temps fractal, château, Boves, France.

Key words: Linear log-periodic model, fractal space-time, castle, Boves, France.

Résumé :

La première partie a présenté la Théorie de la Relativité d'Echelle et son utilisation possible en géographie. Cette seconde partie essaye de mettre en œuvre cette théorie à partir d'un exemple de géographie historique. La modélisation est réalisée dans un espace-temps fractal mais sans djinn, c'est-à-dire en faisant l'hypothèse de l'auto-similarité (dimension fractale constante).

L'évolution historique du site de Boves est ajustée à un modèle log-périodique qui correspond à une décélération historique.

Cette évolution temporelle est mise en relation avec un champ morphogénétique hypothétique bien que caractérisé, entre autres choses, par sa structure, probablement fractale.

Abstract :

The first part presented the Theory of Scale Relativity and its possible use in geography. This second part tries to implement this theory from an example of historic geography. The modeling is realized in a fractal space-time but without djinn.

The historic evolution of the Boves site is modeled by a log-periodic model. This model corresponds to a historic deceleration.

This temporal evolution is got in touch with a hypothetical morphogenetic field although characterized, among other things, by its structure, probably fractal.

Dans cette seconde partie nous allons envisager l'application de la Théorie de la Relativité d'Echelle

(TRE) à une constellation de châteaux déployée autour du site archéologique de la motte de Boves (complexe castral) dans la Somme (France).

Mathématiquement, il s'agit d'une application de la TRE dans le cadre d'un espace-temps fractal, c'est-à-dire sans djinn (cf. partie 1).

I. La relativité d'échelle

A. La présentation de la théorie

Avant de construire la théorie de la relativité d'échelle, il faut envisager deux démarches préliminaires : d'abord abandonner la différentiabilité de l'espace, ensuite respecter le théorème d'H. Lesbesgue.

L'abandon de la différentiabilité de l'espace-temps suppose l'abandon du concept de vitesse. A. Einstein l'avait envisagé. De même A. Le Méhauté & *alii* (1998) abandonnent l'hypothèse de dérivabilité de l'espace (comme L. Nottale) au profit d'une analyse fondée sur l'échelle. Autrement dit, le concept de vitesse est brisé, puisque la vitesse est la dérivée de la distance par rapport au temps parcouru.

Le théorème d'H. Lesbesgue, démontré par L. Nottale (1993), pose qu'une courbe continue presque partout non dérivable possède une longueur dépendant explicitement de la résolution à laquelle on la considère, et tendant vers l'infini quand l'intervalle de résolution tend vers zéro : c'est une courbe fractale. A. Einstein avait remarqué que l'espace était localement plat, ce qui peut correspondre à une vision de l'espace géographique. L. Nottale abandonne cette hypothèse au profit de celle de la fractalité de l'espace et donc des coordonnées. A la différence du calcul différentiel qui suppose, par ailleurs, une limite numérique de la structure étudiée tendant vers zéro, la dérivée de ces courbes fractales suppose que cette limite tende vers l'infini en chacun de leurs points.

Cela étant L. Nottale n'abandonne pas le calcul différentiel en lui-même. Pour une courbe fractale, la différentiation n'est pas possible en zéro, mais l'est pour tout le reste de la courbe !

Une loi d'échelle est une relation de la forme :

$$M = A \left(\frac{L}{l} \right)^{D-D_T} \quad \text{où } M \text{ est la masse, } A \text{ est le préfacteur, } l$$

est la longueur de l'élément de base (l'étalement, la jauge) L la taille apparente et D_T la dimension topologique. La longueur L d'une courbe fractale de dimension D varie donc en fonction de la résolution l . Ainsi, « de même que la relativité du mouvement conduit à introduire une vitesse indépassable, [...] la relativité d'échelle conclut à l'existence de deux échelles finies, indépassables, l'une minimale, l'autre maximale, possédant les propriétés physiques auparavant dévolues au zéro et à l'infini » (Nottale L., 1998, p. 221-222).

B. Le modèle fractal log-périodique

La théorie de la relativité d'échelle a permis de développer un modèle fractal spatio-temporel. Notre objectif est d'expliquer, en fonction du cadre qu'elle offre, d'une part une évolution historique dans l'espace géographique et d'autre part certaines structures spatiales d'un espace géographique, anthropique ou naturel, bien déterminé. Ce modèle permet ainsi d'utiliser des données historiques, parfois très anciennes de l'espace-temps, afin d'établir une évolution et d'en déduire une prospective. L'étude menée ici esquisse un pas supplémentaire en essayant de coupler ces données historiques à des données de nature géographique.

Le modèle mis en œuvre est une loi log-périodique qui modélise l'évolution de manière mathématique. En effet, l'expérience montre que la loi puissance classique proposée de B. Mandelbrot s'ajuste rarement à la perfection, et quand c'est le cas, les exemples pris sont très spécifiques. La plupart du temps, on constate une légère oscillation autour d'une des droites de la régression puissance. On peut apercevoir ce type de phénomène en observant la figure 9.

En conséquence à la relation puissance classique, on ajoute une correction log-périodique permettant une meilleure estimation de la distribution de points permettant d'établir la dimension fractale de l'entité considérée. Dans le cas de la figure 10, la correction log-périodique n'était pas très utile à estimer, mais elle existe bel et bien. Le premier à l'avoir appliquée au temps fut D. Sornette à partir de séries de données en relation avec les tremblements de terre ou avec les krachs boursiers.

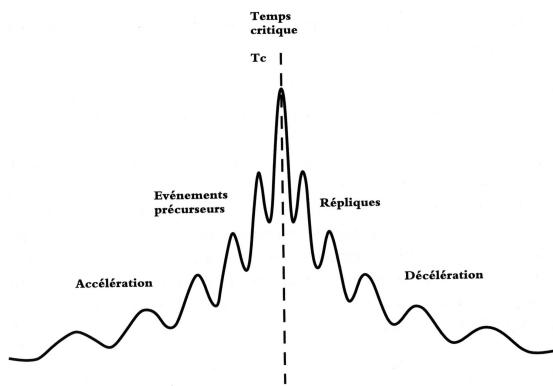


Figure 1 : exemple schématique des deux apparences d'une loi log-périodique (in Chaline J. et Marchand D., 2002 d'après D. Sornette, 1998, complété).

L. Nottale a réussi à théoriser cette relation log-périodique. Un évènement au temps T_n dépend uniquement de celui au temps T_{n+1} et de celui au temps T_{n-1} . En conséquence de quoi, on peut écrire les équations envisagées ci-dessous à partir de ces trois valeurs.

Autrement dit, cette équation explique comment tout système évolue vers quelque chose qui, dans le cas présent, est un moment singulier que l'on peut assimiler à

la crise finale de l'entité considérée. Ce moment sera appelé : temps critique (T_C).

Il faut toutefois préciser que le T_C ne fait pas partie de la chronologie. Ce n'est pas un évènement singulier en lui-même, même s'il correspond à des évènements au sens vernaculaire du terme. Il s'agit plutôt d'une limite à atteindre, d'une limite vers laquelle tend l'évolution spontanée du système. Cela signifie donc qu'il n'a rien d'absolu et qu'il peut être précisé au fur et à mesure de l'écoulement du temps. La connaissance que nous en avons s'affine avec le temps qui passe.

Il peut être localisé soit dans le futur - dans le cas d'une accélération vers T_C - soit dans le passé - dans le cas d'une décélération à partir de T_C (parties gauche et droite de la fig. 1). Cela étant une stagnation (absence d'accélération ou de décélération) n'est pas exclue. Elle correspondrait à un modèle périodique classique qui, dans ce cadre, ne serait qu'une exception c'est-à-dire au cas limite où T_C tend vers l'infini.

La loi de L. Nottale est formulée de la manière suivante :

$$T_n = T_C + (T_0 - T_C)g^{-n}, \text{ où } g = k^{\frac{1}{D}} \quad (1)$$

avec k entier si le nombre d'embranchements (choix potentiels à chaque bifurcation du système, cf. fig. 10) reste constant à chaque étape et si D est un exposant qui relie le rapport d'échelle au nombre d'embranchements, et T_0 l'origine de l'évolution considérée déterminée par un événement arbitrairement choisi à $n = 0$.

Il s'agit d'une loi phénoménologique puisqu'elle est restreinte à des phénomènes particuliers. Avant d'appliquer l'équation, il faut caler les données avec trois dates. Ce calage consiste à calculer g et T_C à partir des premières dates. Il faut préciser que

$$T_{n+1} = \frac{T_C(g-1) + T_n}{g} \quad \text{et} \quad T_{n-1} = T_C + g(T_n - T_C). \quad (2)$$

Autrement dit, la série chronologique est déterminée par l'origine spatio-temporelle que l'on a choisie. On calcule ensuite g et T_C entre n et $n + 1$ de la manière suivante :

$$T_C = \frac{gT_{n+1} - T_n}{g-1} = \frac{T_{n+1}^2 - T_n T_{n+2}}{2T_{n+1} - T_n - T_{n+2}} \quad (2)$$

$$g = \frac{T_{n+1} - T_n}{T_{n+2} - T_{n+1}} = \frac{T_n - T_C}{T_{n+1} - T_C} \quad (3)$$

Ce type d'équation n'est pas exceptionnel en soi. Elle porte le nom de convergence géométrique se formulant de la manière suivante :

$$\delta_{(n)} = \frac{r_{(n)} - r_{(n-1)}}{r_{(n+1)} - r_{(n)}}$$

Ce point présente la particularité d'être super stable.

Dans la pratique, il faut ajuster numériquement g et T_c par une méthode d'estimation statistique comme celle des moindres carrés. On peut utiliser aussi comme estimateur statistique la variable t de Student dans un tirage de Monte-Carlo (fig. 3).

C. La géographie et la relativité d'échelle

Il est clair que cette modélisation soulève un grand nombre de questions relatives aux trajectoires historiques dont traite la géographie lorsqu'elle étudie par exemple l'évolution de telle ou telle ville, la transformation de telle ou telle pratique qui nécessairement ont, ou alors nous sommes hors du champ de la géographie, des traductions spatiales puisque notre discipline a pour projet de comprendre les organisations qui ont une dimension spatiale et donc parfois une forme (Dauphiné A., 2003, p. 48). Il est donc tout à fait logique de penser que l'étude des structures spatiales peut constituer, dans le cadre de cette théorie, l'autre face du problème.

Cela étant les travaux actuellement disponibles sont essentiellement d'ordre chronologique et il appartient aux géographes de développer le volet spatial.

Par conséquent, la théorie de la relativité d'échelle devrait être un élément central dans le discours géographique de compréhension du monde, puisqu'elle propose une explication de l'existence même des formes. Le but de recherches basées sur cette théorie serait ainsi d'essayer de voir si, correctement adaptée, elle ne pourrait pas servir de fondement à une théorie des structures spatiales, des discontinuités en géographie, et ainsi permettre de dépasser l'aporie de la géographie (Martin Ph., 2003.a et b).

II. L'application sur le site archéologique de Boves, Somme

D'un point de vue académique, cette étude entre dans le champ de la géographie historique ou de la géohistoire. Elle essaye d'articuler le temps historique et l'espace géographique, par l'intermédiaire des échelles. En effet, l'application du modèle fractal log-périodique a fondamentalement besoin de ces deux entités. La première application, dans le cadre du projet de la géographie, a été menée sur le site archéologique de Boves par M. Forriez (2005).

Le site archéologique de Boves se situe à huit kilomètres au sud-est d'Amiens. C'est un site essentiellement médiéval qui fait l'objet d'une étude très approfondie depuis dix ans.

C'est un complexe castral constitué d'une motte (élévation de terre vraisemblablement ou partiellement anthropique), d'un château et de bâtiments d'habitation et/ou ecclésiastiques (Racinet Ph. et Drouin L., 2002 ; Racinet Ph., 2004).

C'est bien sûr grâce à tous les travaux existant sur ce site que cette étude a pu être possible et réalisée. Celle-ci se décompose en deux étapes : le choix de l'espace et le choix des événements.

A. Le choix des événements

Il s'agit ici de tester le modèle de L. Nottale avec les données archéologiques et historiques connues de la motte de Boves et relatives à l'occupation du site.

On peut décomposer l'occupation en deux faits : la possession d'une terre (propriété) et/ou son utilisation (usufruit) en y bâtiissant par exemple un habitat. Dans le cas de la motte de Boves, l'occupation est liée à la notion de pouvoir. Il s'agit d'un lieu de pouvoir sur lequel un habitat plus ou moins fortifié est construit. Le pouvoir qu'exerce le site, ne peut être compris que si on le replace à une échelle plus petite, c'est-à-dire si on adopte une démarche multi scalaire, ce qui introduit à la fois la notion d'espace géographique à trois dimensions et la dimension scalaire. L'occupation de la motte peut donc être étudiée dans un espace à cinq dimensions comme celui proposé par L. Nottale.

Dix « dates remarquables » ont été retenues. Les quatre premières ont été choisies en fonction des données archéologiques. 920 et 960 correspondent aux deux premières structures en bois construites sur la motte. Vers 1025 les occupants ont mis en place une structure mi-pierre, mi-bois. Vers 1140, ils commencent à bâtir le premier château à proprement parler. Par l'étude d'Olivier Leblanc (2003), nous savons que la motte est ensuite occupée de manière continue. Le château connaît alors plusieurs transformations et reconstructions.

n	Date réelle	$g(n, n+1, n+2)$	k	$T_c(0, n)$	$T_c(n, n+1, n+2)$	$\log(T_n - T_c)$
BIFURCATION						
0	920					1,32
1	960	0,62	3	856,00	856,00	1,78
2	1025	0,57	3	870,71	875,50	2,10
3	1140	0,52	4	883,34	899,05	2,38
4	1360	0,90	1	62,47	-876,67	2,66
BIFURCATION						
5	1604	0,72	2	762,08	746,23	2,85
6	1945					3,02
BIFURCATION ?						

Figure 2 : les dates calendaires observées et premières estimations de g et T_c .

Les six dernières dates sont obtenues à partir de sources historiques déjà exploitées. Entre 1360 et 1380, les ducs de Lorraine reconstruisent le château. Vers 1604, ce dernier château est détruit, ce qui débouche sur une occupation de moins en moins intensive. Du XIX^e au XXI^e siècle, le site est réactivé en 1870, lors de la guerre franco-allemande puis en 1914-1918, lors de la première guerre mondiale et enfin en 1939-1945, lors de la seconde guerre mondiale. A partir de 1997 débutent les fouilles archéologiques.

La figure 2 donne une première estimation de g et une estimation du nombre k d'embranchements possibles

avec : $k = \frac{1}{2^g}$, et deux estimations de T_c .

Une simplification a été réalisée afin de résumer les quatre dernières dates entre la fin du XIX^e siècle et le XX^e siècle en une seule. En effet, leur connaissance précise n'est due qu'à la proximité temporelle que nous avons par rapport à elles. Aussi, ces quatre dates ont été « résumées » par la date 1945 qui est symbolique de la fin des guerres franco-allemandes et du début de la construction européenne. De plus, la dernière trace « en dur » (un bloc de béton armé) laissée sur le chantier date de cette époque.

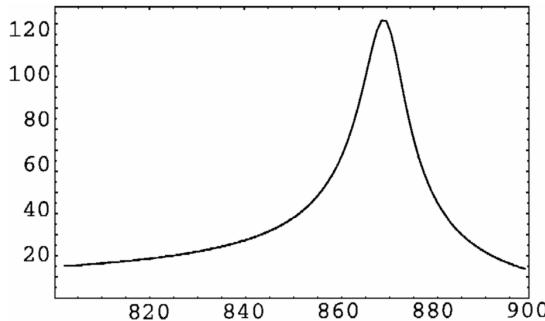


Figure 3 : ajustement de g et de T_C par un tirage Monte-Carlo (communication personnelle de L. Nottale).

Après plusieurs tests manuels, on trouve une valeur g comprise entre 0,56 (de n_0 à n_4) et 0,68 (de n_5 à n_6). La différence des valeurs s'explique sans doute par la présence d'une bifurcation entre n_4 et n_5 (fig. 2). Laurent Nottale a confirmé ces résultats en effectuant un tirage de type Monte Carlo afin d'ajuster g et T_C en utilisant l'estimateur statistique de la variable t de Student (fig. 3). On constate que pour $g \approx 0,56938$ on observe un pic de la variable t de Student avec un $T_C \approx 870$ pour les cinq premières dates de la série. Il n'y a qu'une chance sur 50 000 d'obtenir ces résultats au hasard.

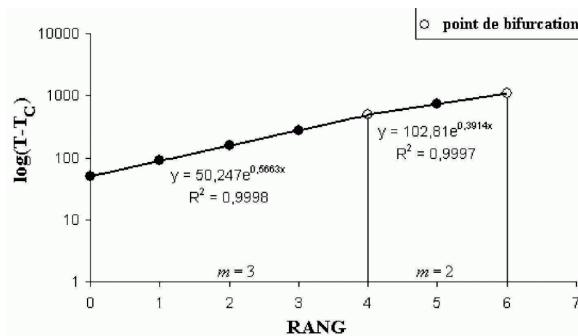


Figure 4 : la relation entre le rang et le $\log(T_n - T_C)$.

La valeur de T_C est donc voisine de 870. Cette valeur n'est pas aberrante ni pour l'historien ni pour le géographe, puisqu'il s'agit du moment où l'empire carolingien se désagrège.

La fonction de bifurcation $f(X)$ (fig. 4) varie comme la fonction $(|T - T_C|)^m$ où m est le nombre de bifurcations. Le problème est que dans le cas de Boves m n'est pas

constant, d'où la nécessité de diviser la courbe en au moins deux parties : dans la première, $m = 3$, dans la seconde $m = 2$. La rupture de pente de la courbe peut être interprétée, aussi comme une bifurcation. La figure 5 présente les dates théoriques obtenues à partir des valeurs de g et de T_C choisies, réinjectées dans l'équation 1.

n	Date théorique	g optimisé	$\log(T_n - T_C)$	k
BIFURCATION				
0	920		1,70	
1	959	0,56	1,95	3
2	1028	0,56	2,20	3
3	1150	0,56	2,45	3
4	1366	0,56	2,70	3
BIFURCATION				
5	1600	0,68	2,86	2
6	1944	0,68	3,03	2
BIFURCATION ?				

Figure 5 : dates théoriques obtenues par l'équation 1.

On constate ainsi qu'après chaque bifurcation supposée, le nombre d'embranchements, c'est-à-dire en fait l'ampleur du choix, diminue. Il passe de trois à deux. Puis, si on prend comme date suivante 2080 (Nottale L. & alii, 2000), il passe de deux à un. Ce qui, en soi, pour une occupation d'un site qui finit comme un site archéologique, c'est-à-dire un site qui a subi une « extinction », est très logique.

De plus, d'un point de vue purement mathématique, on remarque que :

$$\left(\frac{g_1}{g_2}\right)^2 = \left(\frac{0,68}{0,56}\right)^2 \approx 1,47 \approx \frac{3}{2}$$

ce qui correspond bien à l'hypothèse des trois embranchements qui sont portés au nombre de deux après la bifurcation temporelle.

B. Le choix de l'espace

Cela étant, l'approche de L. Nottale demeure avant tout temporelle. Aussi, faut-il la compléter par une analyse spatiale, notamment à partir de l'équation de Schrödinger généralisée (Nottale, L., 1993 ; Nottale L. & alii, 2000, p. 350-353). Nous l'esquisserons ci-dessous. Cette approche permettra d'essayer de comprendre l'organisation de la distribution dans l'espace des châteaux (fig.6). Cette étude n'a pas pour but d'être exhaustive. Elle vise seulement à dégager des pistes de recherche fondées sur une analyse spatiale et fractale.

La méthode est assez simple (Martin Ph., 1997 ; 2003.b). On calcule une succession de densités de châteaux en fonction de la surface de cercles tracés autour d'un pôle organisateur c'est-à-dire des principaux châteaux. On reporte ensuite les valeurs sur un graphique avec en abscisse le logarithme la taille du rayon (de cinq

kilomètres en cinq kilomètres) et en ordonnée le logarithme du rapport : $\frac{\text{nombre de château}}{\text{surface du cercle}}$.

Le calcul est appliqué autour de dix positions, supposées être des pôles organisateurs au X^e siècle : Boves, Amiens, Corbie, Vignacourt, Picquigny, Moreuil, Poix, Conty, Folleville et Albert (ou Ancre au Moyen Age). Il est donc postulé un lien de subordination qui s'exprimerait par une hiérarchie spatiale. Afin de mener à bien cette réflexion, il faut partir d'un postulat partiellement vrai. Celui-ci consiste à supposer que le nombre des châteaux recensés dans le comté d'Amiens primitif n'a pas varié au cours du temps. Cela implique que la distribution se serait cristallisée entre le X^e et le XIII^e siècle, ce qui est historiquement très discutable.

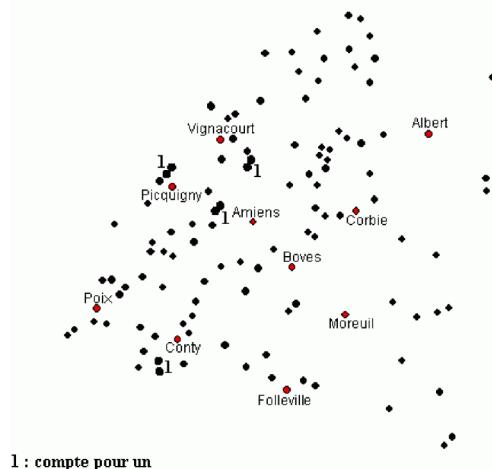


Figure 6 : nuage de points ou constellation des châteaux de la région d'Amiens – France (position relative).

Après une étude approfondie de l'organisation de l'espace autour de chaque château, on observe deux types de structures spatiales : celui rencontré à Boves, Amiens, Corbie, Albert et Moreuil qui correspond à un polynôme qui « croît puis décroît », et celui trouvé à Picquigny, Poix, Vignacourt et Conty qui se résume à un polynôme qui seulement « décroît ». Une seule structure paraît inclassable : c'est celle de Folleville.

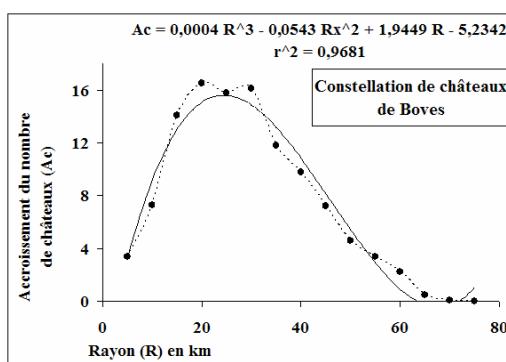


Figure 7 : relation entre le rayon et le nombre moyen de châteaux.

Cela étant, dans ce classement, il faut prendre en compte les effets de bord. Les structures du premier type couvrent presque toute la totalité du comté d'Amiens primitif avec des cercles dont le rayon varie entre 15 et 20 km. Celles du second voire du troisième type intègrent un effet de bordure presque immédiat au-delà de 5 km.

En prenant le nombre moyen de châteaux, on obtient un modèle plus « général », qui exprime une « sur densification » moyenne entre 5 et 25 km, puis une décroissance entre 25 et 75 km de l'effectif des châteaux (fig. 7). Cela étant cette variation moyenne masque une décroissance exponentielle au-delà de 25 km.

Ainsi, une fois normée avec la surface, la décroissance devient parfaitement exponentielle (fig. 8). L'ajustement est parfait au-delà de 15 km. En conséquence la distribution spatiale de la constellation des châteaux n'est pas fractale au sens de B. Mandelbrot (invariance d'échelle). Pour avoir une structure fractale ss, il aurait fallu que la densité décroisse en fonction des échelles, ce qui est bien le cas ici, mais aussi qu'elle décroisse d'une même valeur entre les échelles, ce qui n'est pas le cas ici (fig. 8). La distribution moyenne est ici exponentielle ce qui correspond à une « super-fractale » selon la classification de L. Nottale (1993).

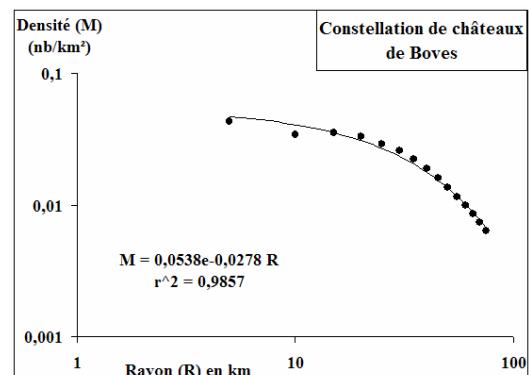


Figure 8 : relation entre la densité moyenne et le rayon.

Par ailleurs, lorsque l'on observe l'emplacement des différents sites (fig. 6), on se rend compte qu'ils sont implantés, soit près d'une voie romaine, soit près d'un cours d'eau.

Dans le « triangle » Amiens-Albert-Moreuil, il n'y a pas moins de six vallées qui se rejoignent, ainsi qu'un carrefour romain, au nord de Boves, sans compter les nombreuses voies romaines partant d'Amiens passant dans ce « triangle ». Ces réseaux dont la convergence est surprenante, sont sans doute à l'origine de la sur densification locale autour d'un point focal proche de Boves.

En d'autres termes cela conduit à penser que le point singulier qu'est Boves est largement le résultat d'une structure à petite échelle, d'un champ morphogénétique dont les axes de communication sont un aspect saillant, et donc logiquement, que ce sont les fluctuations de ce champ qui ont « produit » (?), « contrôlé » (?) l'histoire événementielle du complexe castral bovois. A ce niveau

s'articulent donc très étroitement : l'espace, le temps et les échelles ce que formalise la TRE. Cela étant il est clair que la complexité conceptuelle vient de la prise en compte des échelles, des rapports invariants ou covariants entre les échelles ; c'est-à-dire de l'introduction d'une pensée fractale et d'un formalisme fractal. Celui-ci se trouve donc au centre d'une géographie scientifique, d'une géographie « dure » selon le sens que donnent à cet adjectif les intellectuels des sciences exactes.

Pour illustrer ce propos, une dimension dite de masse a été calculée (sous Benoit 1.2 de Trusoft international) à partir de ce point focal. Elle est proche de 1,75 pour l'ensemble de la constellation (fig. 9). Toutefois ceci n'est qu'une première estimation. D'autres approches techniques sont en cours d'expérimentation.

D'un point de vue mathématique, généraliser ce cas est particulièrement complexe à réaliser. Cela étant L. Nottale (communication orale), après analyse des résultats, pense qu'il s'agit d'une structure qui pourrait être attendue dans le cadre du volet quasi quantique de la théorie qu'il a démontrée (Théorie de la Relativité d'Échelle – TRE) et cela bien que nos résultats ne puissent, malheureusement être considérés que comme un indice de cet état quantique.

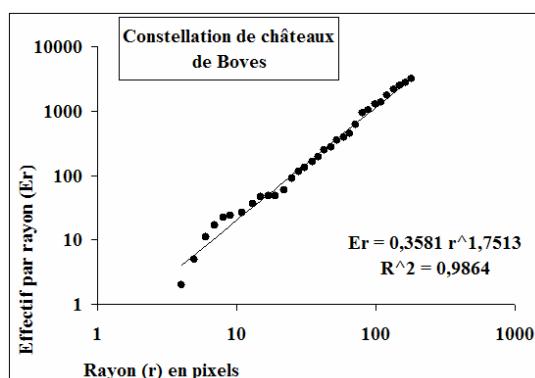


Figure 9 : calcul de la dimension fractale de masse.

L'analyse spatiale n'est, en outre, pas complète. Il aurait fallu pour cela automatiser les calculs sur les mottes et/ou châteaux et intégrer l'évolution territoriale et la distribution spatiale des sites castraux du comté primitif d'Amiens à la France actuelle. Toutefois, ces premiers résultats sont suffisants pour envisager de sérieuses pistes de recherches.

C. Le bilan

L'espace-temps de L. Nottale, appliqué en sciences humaines, suppose une réorientation de la géographie et de l'histoire, c'est-à-dire une réconciliation structurelle entre une vision spatiale (géographique) et temporelle (historique). Ainsi, on est contraint d'abandonner **définitivement** la vision braudélienne du géographe plantant le décor et de l'historien expliquant le rôle des acteurs.

Une question devient alors essentielle : quelle est l'utilité de ce modèle pour ces disciplines ? En histoire, en

archéologie, etc. cela semble évident : il permet la vérification d'une périodisation à une échelle temporelle de conséquences données (Chaline J. et alii, 1999). Ainsi dans *Les arbres de l'évolution* (2000) le modèle a-t-il été testé à l'échelle des civilisations. Cette étude l'a fait à l'échelle d'un château et du territoire qu'il contrôle. Le test de L. Nottale et alii, en 2000, a montré une accélération temporelle pour n'importe quelle civilisation, y compris occidentale avec un T_C de 2080 +/- 30. Il en est de même pour de très nombreux indicateurs démographiques, économiques, etc. (Sornette D., 2003, p.355 et suivantes). Au niveau d'un château, comme Boves et de son territoire, on observe une décélération. Ainsi, la micro-échelle peut présenter une accélération alors que la macro peut montrer localement une décélération.

Différentes études montrent un accroissement de l'espace de contrôle autour du château. A l'origine, le site de Boves contrôlait un petit territoire avec quelques dépendances. Puis, le site a été englobé dans le domaine royal. Bien qu'il conserve sa puissance, les pôles de pouvoir ont alors été redistribués dans le comté d'Amiens. Le comté d'Amiens s'est structuré et on a ainsi changé d'échelle. Avec le Ponthieu anglais (1328), les enjeux sont au nord-ouest du site, dans la baie de Somme. On a quitté l'échelle du comté. L'émergence d'une nouvelle et plus petite échelle a été réalisée par la création de la Picardie bourguignonne. Le XVII^e siècle a définitivement intégré le site dans le domaine royal. Boves ne présente plus aucun intérêt, ce lieu de pouvoir doit céder sa place à d'autres lieux plus au nord. Aux XIX^e-XX^e siècles, on est passé à une ultime petite échelle par l'intermédiaire des trois guerres franco-allemandes (1870 ; 1914-1918 ; 1939-1945).

Ainsi, le temps et l'espace peuvent-ils s'articuler par l'intermédiaire d'échelles spatio-temporelles. Finalement, au fur et à mesure que Boves est intégré dans des échelles de plus en plus petites, le site perd de sa valeur, de son importance, à un tel point qu'aujourd'hui, qui peut encore situer le château de Boves sur une carte ? Nous sommes bien là dans les conséquences d'une modification du champ morphogénétique déjà évoqué ci-dessus dont l'évolution peut conduire à la cristallisation castrale comme à son effondrement. Il n'empêche que, pour des raisons différentes, le site est de temps en temps réactivé, mélangeant ou emboîtant la micro et la macro-échelle. Ainsi, peut-on résumer les résultats provisoires obtenus par la figure 10.

La figure 10 montre le nombre de choix d'évolutions possibles. Au début, il y a une rupture entre l'empire carolingien et le système féodal, marquée par une désagrégation spatiale. De 920 à 1360, il y a, à chaque « moment historique » trois branches possibles donc trois futurs potentiels dont seulement un se réalisera. Cela étant le système ne semble avoir réellement bifurqué qu'à partir du moment où le nombre de choix possibles s'est réduit à deux (en 1360). La bifurcation peut s'expliquer par l'intégration définitive, à une échelle plus petite, du site de Boves dans l'Etat français en construction.

Si l'évolution s'était poursuivie autrement (absence d'Etat français par exemple), l'étape suivante de construction aurait eu lieu, **sur** la motte, vers 1751 (?). Quelle forme cette césure aurait-elle pu prendre ? Quelle nouvelle structure territoriale aurait pu, là, prendre naissance ? Nous ne le savons pas mais certains scénarii pourraient être échafaudés.

Rappelons qu'après 1748, année du traité d'Aix la Chapelle, et la constitution de la Prusse et de l'Autriche « la possibilité d'une hégémonie française sur l'Europe disparaît » (Duby G., 1971, t.3, p.246). La France devra ensuite ferrailler d'abord pendant la Révolution, puis entre 1869 et 70, puis entre 1914 et 1918 puis enfin entre 1939 et 1945 pour assurer son existence.

La seconde bifurcation a lieu en 1945, si on prend comme T_C 2080 et si on considère comme recevables les résultats de L. Nottale & alii (2000). Là, il n'y a plus qu'un choix possible. L'évolution du site n'a plus qu'une possibilité, qu'une branche. Tout comme les états antérieurs, cela peut s'expliquer par l'intégration européenne. Il ne présente plus aucun intérêt quels que soient les niveaux considérés, sauf au niveau scientifique. A partir de là, il n'est pas impossible de penser que le site de Boves restera dans son état actuel : c'est-à-dire à l'abandon jusqu'à la prochaine rupture (2080 ?) qui peut être lui redonner un intérêt stratégique.

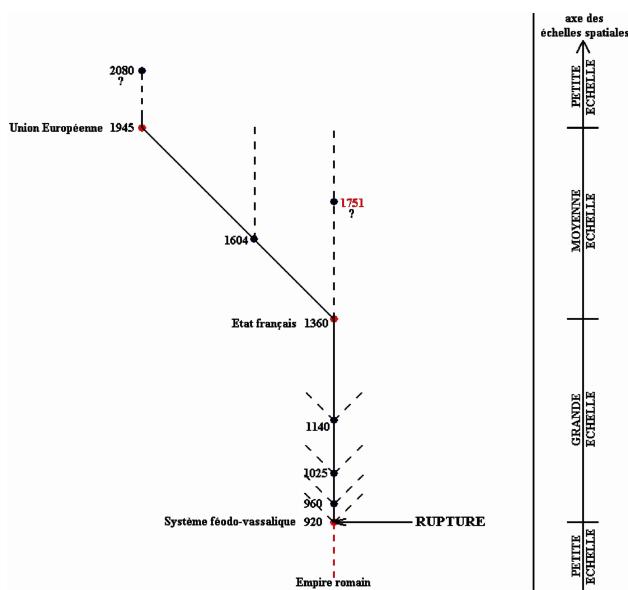


Figure 10 : L'arbre de l'évolution spatio-temporelle du site de Boves de la fin de l'empire carolingien au XXI^e siècle.

Rappelons que cette date n'est pas sans signification. Reprenant les dates (médianes) des grandes crises, des grandes ruptures connues des sociétés humaines depuis le Néolithique, les auteurs (Nottale L. & alii., 2000, p. 335) montrent que le T_C est égal à 2075 +/- 5 ans (calcul fait à partir des six derniers événements) ou à 2080 +/- 30 ans si on prend l'ensemble des événements. Ce calcul leur a permis de pronostiquer des crises pendant les périodes suivantes : 1995 – 2000 ; 2015 – 2020 ; 2030 – 2035 ; etc. En 2002, les mêmes auteurs (Grou P. & alii.) en intégrant

la crise (le crack boursier) du début du troisième millénaire qui débute en juillet – août 2001 et devient critique en septembre, aboutissent à une nouvelle estimation peu différente : $T_C = 2084 +/- 20$ ans.

Soulignons enfin que la date donnée par le T_C n'est qu'une date butoir très théorique. En conséquence il apparaît que nous sommes déjà entrés dans une « super crise » où la longueur des périodes de crise *ss* sera progressivement égale à celle de non crise (phase de stase). L'ensemble traduisant « une transition dont la nature ne peut être précisée dans le seul cadre de l'approche considérée. Il s'agit clairement d'un changement de société majeur, dont nous vivons les prémisses actuellement » (Nottale L. & alii., 2000, p. 339).

Certains points du territoire sont donc des lieux de cristallisation de l'histoire événementielle qui révèlent un ordre chronologique dépendant d'une structure géométrique pour l'essentiel au double sens de l'expression : modèle formel, géométrique : la TRE et distribution spatiale abordable par l'analyse spatiale *ls* ; distribution qui peut être considérée comme l'expression tangible (cristallisée sur l'interface terrestre) d'un champ morphogénétique complexe qui associerait : de l'énergie, une structure abstraite sur le modèle de la catastrophe thomienne et les morphologies cristallisées – c'est-à-dire des attributs spécifiques en des lieux (Martin Ph. 2004) - qui interagissent avec les flux. Cela conduit à penser qu'un site « mémorise » des événements tant qu'il est une singularité du champ socio - politico - militaro - économique, et tant qu'il est en tension sous l'effet d'une structure abstraite, d'un attracteur. La modification du champ morphogénétique conduisant à la mort et à la disparition du site.

On peut ainsi par exemple analyser l'histoire de nombreuses villes de par le monde qui ont disparu en raison de la suppression de leurs conditions sous jacentes d'existence ce que nous percevons mal en Europe en raison d'une permanence globale, depuis au moins l'époque romaine, de l'armature urbaine, en France particulièrement, sauf dans des cas à grande échelle aussi spécifiques que celui de Boves et parce que nous tendons à maintenir en « vie », à grands frais, des singularités structurelles qui sont mortes ; ce qui est toutefois logique quand l'avenir est aussi incertain !

III. Bibliographie

- ANDLER D., FAGOT-LARGEAULT A., SAINT-SERNIN B., 2002 - *Philosophie de la nature*. Tome 1, 660 p, tome 2, 586 p., coll.: Foliot essais, Gallimard, Paris.
- BARTHELEMY J. H. et BONTEMS V., 2001 - Relativité et réalité. Nottale, Simondon et le réalisme des relations. In : Objets d'échelles, *Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 27-54.
- BOIS E., 2002 - *L'univers sans repos ou l'essence première du mouvement*. Peter Lang éditeur, Berne, coll.: *Philosophia Naturalis et Geometricalis*, 237 p.
- BULEON P., 2002 - Spatialité, temporalités, pensée complexe et logique dialectique moderne. *EspaceTemps.net*, textuel, 01.05.2002.

- BRIAN E. 2001 - Epreuves de construction fractales. In : Objets d'échelles, *Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 5-9.
- CHALINE J., NOTTALE L. et GROU P. 1999 - L'arbre de la vie a-t-il une structure fractale ? Le point sur ... *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, n°329, série II, p.849-851.
- CHALINE J. et MARCHAND D. 2002 - *Les merveilles de l'évolution*. Editions universitaires de Dijon, Dijon, 268 p.
- COLLECTIF, 1994 - SIMONDON G. Une pensée de l'individuation et la technique. *Bibliothèque du Collège international de philosophie*. Albin Michel, Paris, 278 p.
- D'ARCY THOMPSON 1942 - *On growth and form*. The complete revised edition, réimpression Dover, publications Inc, New York, 1116 p.; 1^{re} édition 1917.
- D'ARCY THOMPSON 1994 - *Forme et croissance*. Éditions du Seuil et du CNRS, Paris, 335 p.
- DAUPHINÉ A. 2003 - *Les théories de la complexité chez les géographes*, Paris, Economica, 248 p.
- DAUPHINÉ A. 2006 - Emergence et multifractalité des formes. Un exemple d'application en géographie urbaine. *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.281-286.
- DUBY G. (sous la direction de), 1971, *Histoire de la France*. T1 : Des origines à 1348, 414 p. ; T2 : de 1348 à 1852, 455 p. ; T3 : de 1852 à nos jours, 448 p. Editions Larousse, Paris.
- FORRIEZ M. 2005 - *La motte de Boves permet-elle de mener une réflexion épistémologique commune en archéologie, en géographie et en histoire ?*, Arras, Mémoire de Master 1 d'histoire et de géographie, 156 p.
- LE MEHAUTE A., NIGMATULLIN R., et NIVANEN, L. 1998 - *Flèches du temps et géométrie fractale*, Paris, Hermès, 348 p.
- LEBLANC O. 2003 - *Les seigneurs de Boves. Origines et exercices du pouvoir en Picardie (IX^e-XII^e siècle)*, Amiens, Thèse de l'Université de Picardie, 3 tomes.
- MANDELBROT B., 1967 - How long is the coast of Britain ? Statistical self – similarity and fractional dimension. In : *Classics on fractals*, edited by G. E. EDGAR, 1993, Addison – Wesley publishing company, Reading, Massachusetts, USA, p.351-358.
- MARTIN Ph., 1997 - Structures hiérarchiques dans le karst de la Sainte Baume (B. du Rh. Var ; France) 12^e Congrès de spéléologie, Symposium 7, Vol.1, Union internationale de spéléologie et Société suisse de spéléologie éditeurs, p.129-132.
- MARTIN Ph., 2003.a - Construire un objet géographique. Recherche d'une méthodologie. In : *Objets et indicateurs géographiques* sous la direction de J. MABY, Collection Actes Avignon n°5, Université d'Avignon et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.42-88, 13 fig., 1 graphe. Texte en ligne sur les sites : <http://www.umrespace.org> et <http://www.geo.univ-avignon.fr>.
- MARTIN Ph., 2003.b - Objectivation des formes en géographie et calculs d'indicateurs fractals. Exemples karstiques. In : *Objets et indicateurs géographiques* sous la direction de J. MABY, Collection Actes Avignon n°5, Université d'Avignon et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.153-268, 13 fig., 1 graphe. Texte en ligne sur les sites : <http://www.umrespace.org> et <http://www.geo.univ-avignon.fr>.
- MARTIN Ph., 2003.c - Les limites en géographie physique. Eléments de réflexion. *Travaux de l'Institut de géographie de Reims*, n°113-114, vol.29, p. 127-143.
- MARTIN Ph. 2004 - *Modélisation fractale et structurelle des formes en géographie. Réflexion développée à partir d'exemples karstiques*. Habilitation à diriger les recherches. Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, tome 1, 173 p., tome 2, 314 p., tome 3, 176 p., 1 carte coul. ht.
- MARTIN Ph. 2005, (sous la direction de VOLVEY A.), - Géométrie fractale et géographie : l'exemple des formes physiques. In : *Echelles et temporalités*, Coll. Clefs concours, Géographie des territoires, Atlande éditions, Paris, p. 65-71.
- MARTIN Ph. 2006.a - La forme peut-elle libérer la prisonnière du carrefour ? Vers une théorie de la forme en géographie. *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.19-38.
- MARTIN Ph. 2006.b - La dimension fractale d'un relief varie-t-elle avec l'altitude ? L'exemple de l'Aigoual (France). *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.327-332.
- MARTIN Ph., 2006.c - Des courbes de niveau fractales « scale dependent » à l'Aigoual (France) ? Mesure et signification d'une courbure. *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.333-340.
- MARTIN Ph. 2006.d - Fractale parabolique et fractale « scale dependent » : Un problème de courbure ? Echelle et finitude. *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, p.341-352.
- MARTIN Ph., 2006.e - *Colloque Géopoint 2004 : La forme en géographie*, Avignon juin 2004, Synthèse du thème 3 (atelier 2) : L'instrumentation pour la reconnaissance et la construction des formes en géographie ; de la carte à la morphologie mathématique. p.383-390, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs.
- MARTIN Ph., 2006.f - Les limites du temps et la géographie de demain. *Colloque Géopoint 2006 : Demain la géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, *Brouillons Dupont*, p.37.
- MARTIN Ph., 2006.g - Ne faudrait-il pas renaturaliser la géographie ? *Colloque Géopoint 2006 : Demain la géographie*, Avignon, Groupe Dupont et UMR ESPACE 6012 du CNRS éditeurs, *Brouillons Dupont*, p.81.
- MARTIN Ph., 2006.h - Caractérisation fractale du relief « stationnarisé » du Lodevois. *Colloque SAGEO 2006*, Cdrom ISBN : 2-9526014-1-0, Laboratoire : Image et

ville et Université L. Pasteur, Strasbourg éditeur, 23 p.,
7 fig.

MARTIN Ph., à paraître - Approche fractale des Grands Causses (Massif Central, France). Structure spatiale de la relation existant entre l'altitude et la dimension fractale de courbes de niveau covariantes. *Actes des Journées de l'Association Française de Karstologie de Sion* (Suisse), Université de Lausanne éditeur.

NOTTALE L. 1993 - *Fractal space-time et microphysics. Towards a theory of scale relativity*, World scientific, Singapour, XIV-338 p.

NOTTALE L. 1998 - *La relativité dans tous ses états*. Hachette, Paris, 319 p.

NOTTALE L. 2001.a - Relativité d'échelle. Structure de la théorie. In : Objets d'échelles, *Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 11-25.

NOTTALE L. 2001.b - Relativité d'échelle et morphogenèse. In : Objets d'échelles, *Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 93-116.

NOTTALE L. 2002 - La relativité d'échelle. Entretien in BENKIRANE R., 2002, *La complexité, vertiges et promesses*. Editions le Pommier, diffusion : harmonia mundi, p. 329-356.

NOTTALE, L., CHALINE, J. et GROU, P. 2000 - *Les arbres de l'évolution*. Coll. univers, vie, sociétés, Hachette, Paris, 379 p.

PETITOT J. 2004 - *Morphologie et esthétique*. Maisonneuve & Larose éditeur, Paris, 374 p.

PRIGOGINE, I. et NICOLIS, G. 1992 - *A la rencontre du complexe*, Paris, PUF, 382 p.

RACINET Ph., 2006 - Un lieu de pouvoir exceptionnel aux portes d'Amiens : Boves (X^e – XII^e siècles). In : Lieux de pouvoir en Normandie et sur les marges. A. M. FLAMBARD HERIDIER (Dir.). Publications du Centre de Recherches Archéologiques et Historiques Médiévaux (CRAHM), Caen, 256 p.

RACINET Ph. et DROUIN L., 2002 - De la résidence carolingienne à la motte : le complexe castral et prioral de Boves (Somme, France), dès IX^e – X^e au XIII^e siècle. In : *Château – Gaillard*, colloque de Gwatt, Publications Centre de Recherches Archéologiques et Historiques Médiévaux (CRAHM), Caen, 312 p.

SORNETTE D., 2003 - *Why stock markets crash. Critical events in complex financial systems*. Princeton university press, Princeton & Oxford, 421 p.