

Structure multi-échelle de la répartition de la population

La loi rang - taille, à l'échelle de chaque État, peut facilement être étendue à l'échelle du monde ou à l'échelle continentale. Il en est de même pour les distributions parétiennes observées, ce qui permettra d'étudier ces lois avec un effectif beaucoup plus important, car l'échantillon n'est plus limité à 300 valeurs. À ces deux analyses, ce chapitre se propose d'introduire une dimension spatiale en calculant des dimensions fractales de la répartition de l'établissement humain à l'échelle planétaire ou continentale.

17.1. À l'échelle du monde

À l'échelle du monde, la répartition des habitants est contrainte par la position des trois océans, et, dans une moindre mesure, par les milieux climatiques, le domaine privilégié étant la zone tempérée et par les grands massifs (Figure 141), comme cela a largement été évoqué dans le chapitre 15. Une nouvelle fois, l'analyse des données *Tageo* révèle une structure très riche. Dans un premier temps, l'étude des données brutes permettra de poser les différentes techniques et méthodes. Chemin faisant, cela conduira à étudier la répartition de lieux et les distributions parétiennes en fonction d'un seuil de population.

17.1.1. Données brutes

La méthode des lois rang - taille ayant été détaillée dans le chapitre précédent, ce paragraphe débutera par l'explication de la méthode de calcul d'une dimension fractale à l'échelle planétaire. Une nouvelle fois, la méthode de calcul retenue est celle du comptage de boîtes carrées sur un planisphère représentant la répartition des géolocalisations de la base *Tageo* (Figure 141). La représentation retenue est une carte par points qui est la plus efficace pour percevoir les vides et les pleins du peuplement de la Terre (Noin et Thumerelle, 1993, p. 43).

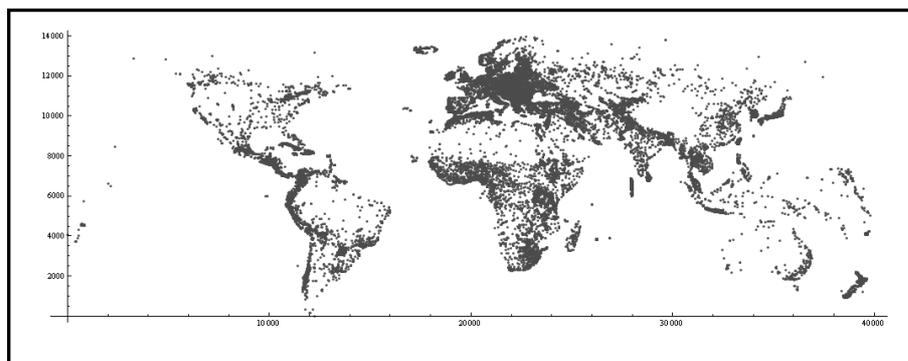


Figure 141. Répartition des géolocalisations de la base *Tageo*

17.1.1.1. Analyse fractale globale de la répartition de l'établissement humain à l'échelle planétaire

La structure d'un planisphère est telle que deux biais apparaissent dans l'estimation de la dimension fractale par comptage de boîtes carrées. Le premier concerne sa forme : le planisphère est clairement rectangulaire dans le sens où l'on peut y placer deux carrés d'environ 20 000 km de côté (dans le cas d'une projection cylindrique). Ainsi, si le carré mesurant la dimension fractale possède un côté dont la taille est supérieure à 20 000 km, il comptera systématiquement deux carrés. Ce biais est dû au fait que l'on travaille sur un objet qui, normalement, s'organise en trois dimensions (latitude, longitude, altitude) avec une projection en deux dimensions. Ainsi, le calcul d'une dimension fractale par comptage de boîtes cubiques éviterait ces deux biais. Toutefois, pour ne pas compliquer davantage le problème, dans tout ce chapitre, les dimensions fractales continueront à être mesurées sur des objets en deux dimensions. Le biais dû à la courbure de la Terre est donc systématiquement prégnant dans toutes les analyses fractales qui vont être réalisées, ce qui ne devrait pas poser problèmes pour interpréter les résultats.

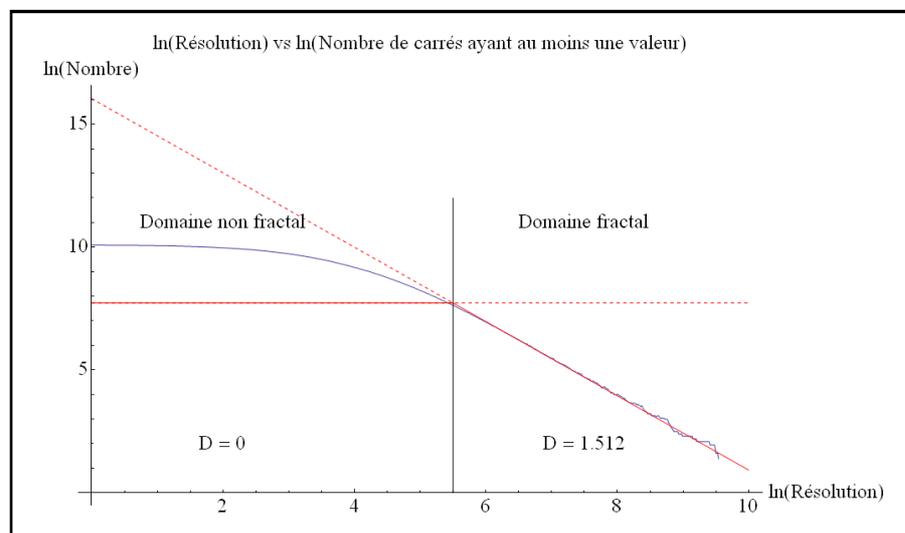


Figure 142. Analyse fractale globale de la répartition de l'établissement humain à l'échelle planétaire

Remarque importante. Dans toutes les figures de ce chapitre, il existe une véritable « zone de transition » beaucoup plus importante que sur les autres cas présents dans cette thèse. Ainsi, dans ce chapitre, les échelles de coupure établies sur les graphiques ne correspondent pas à l'échelle de transition, mais à l'échelle à partir de laquelle la dimension fractale devient constante. Dans le cas de la figure 142, la zone de transition commence vers $\ln(\varepsilon) = 2,5$ et s'achève vers $\ln(\varepsilon) = 5,5$ (l'échelle de coupure retenue).

Nombre de localisation	24 272
Échantillon	98 % de la base de données
Nombre d'habitants	2 069 530 000
Échelle de coupure	245 km
Échelle maximale	16 318 km
Dimension fractale	1,512 ± 0,003

Figure 143. Paramètres de la structure fractale globale de la répartition de l'établissement humain à l'échelle planétaire

La Figure 142 et la Figure 143 présentent les résultats obtenus à partir de la Figure 141. Une nouvelle fois, la loi obtenue est une loi du type transition fractal - non fractal. Les deux régimes se distinguent clairement. D'une part, on observe un régime où la dimension fractale est nulle. D'autre part, après une longue transition, on obtient une dimension fractale constante d'environ 1,512. Il est évident que cette analyse peut être complétée par une étude locale, à l'instar de celle réalisée pour les châteaux.

17.1.1.2. Analyse fractale locale de la répartition de l'établissement humain à l'échelle planétaire

La Figure 144 donne les paramètres de l'analyse de la dimension fractale locale. Contrairement à l'étude de la répartition des châteaux, dans ce chapitre, il sera systématiquement étudié la huitième grille afin d'avoir une grille suffisamment proche de l'échelle de coupure observée dans l'analyse globale. La Figure 145 montre les variations locales de la dimension fractale dans chacune de 1 520 carrés composant la grille d'analyse. Cette répartition ne montre qu'aucune structure particulière : aucun centre particulier ne ressort.

Taille de carrés	311 km
Nombre de carrés	1 520
Dimension fractale moyenne	0,225
Écart-type	0,263

Figure 144. Paramètres de la dimension fractale locale

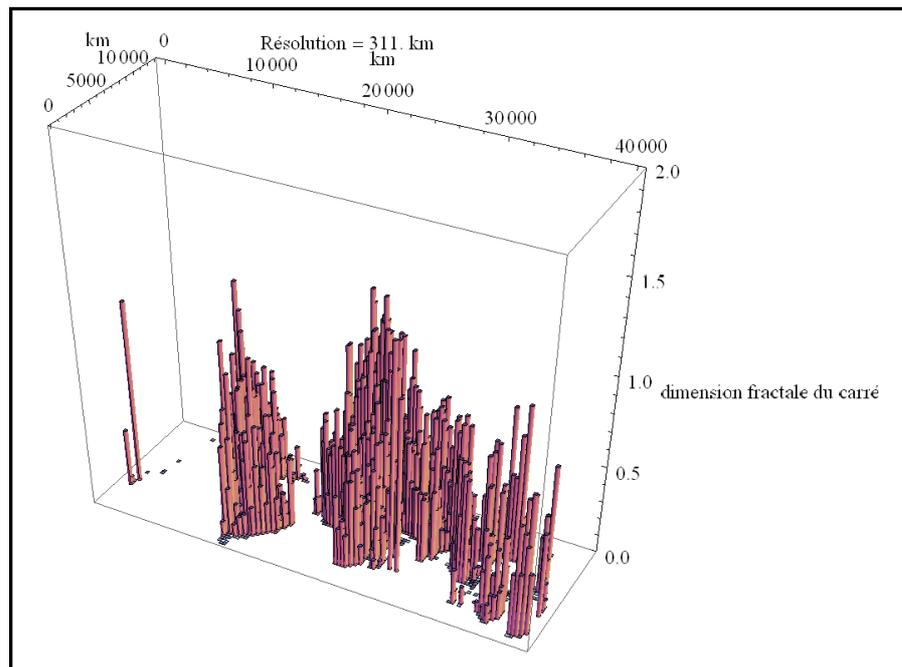


Figure 145. Dimension fractale locale contenue dans chaque carré

17.1.1.3. Analyse locale du nombre d'habitants à l'échelle planétaire

À l'instar du paragraphe précédent, on peut effectuer une analyse locale du nombre d'habitants contenu dans chacune des cases (Figure 146) qui est une méthode de représentation connue sous le nom de carte par prismes et reliefs statistique (Noin et Thumerelle, 1993, p. 36-37). Elle permet de trouver une structure largement connue puisque les pics de population correspondent aux grands foyers de peuplement à l'échelle du monde. Ainsi, une méthode d'agrégation relativement simple permet de construire une structure spatiale relativement complexe fait de « vides » et de « pleins ». Cela signifie que dans une analyse fractale, à l'échelle du monde, le maillage permet d'estimer le nombre d'habitants d'une agglomération carrée. Évidemment, pour éviter les biais, il faudrait connaître la répartition de la totalité de la population à l'échelle du monde, ce qui est à l'heure actuelle impossible.

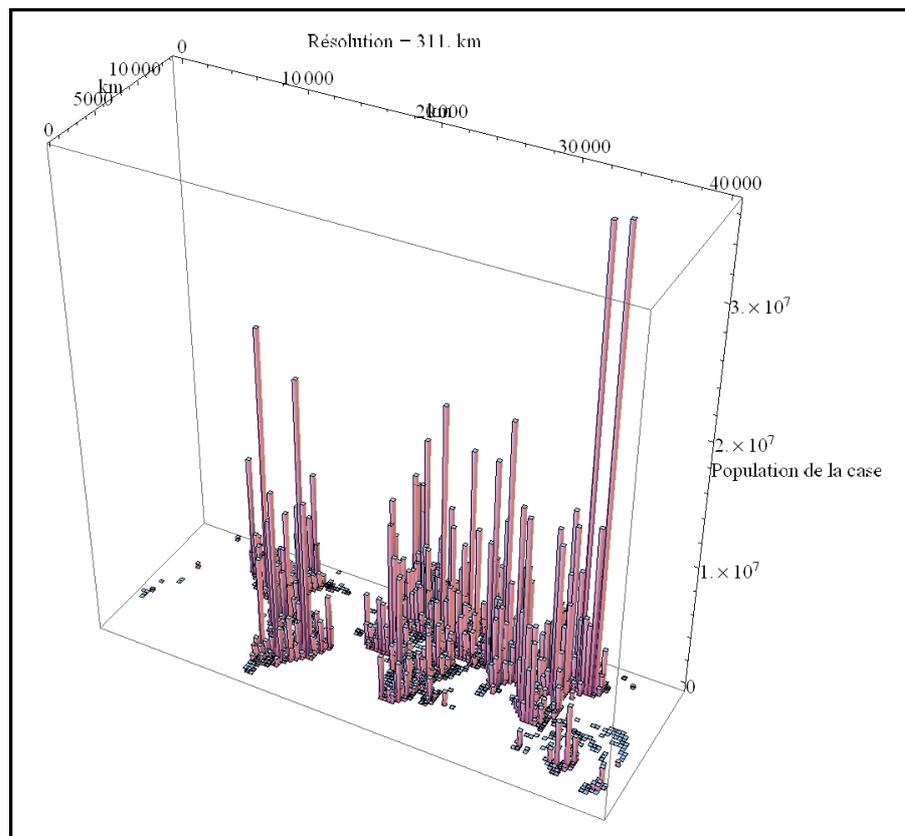


Figure 146. Structure locale de la répartition de la population à l'échelle du monde

Pour conclure, la Figure 147 montre que la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local sont liés une nouvelle fois par une relation linéaire hautement significative. En effet, la dimension fractale travaille sur les lieux, et non sur le nombre d'habitants en ces lieux. Toutefois, on peut s'interroger sur la nature de la distribution du nombre d'habitants, n'est-elle pas fractale ?

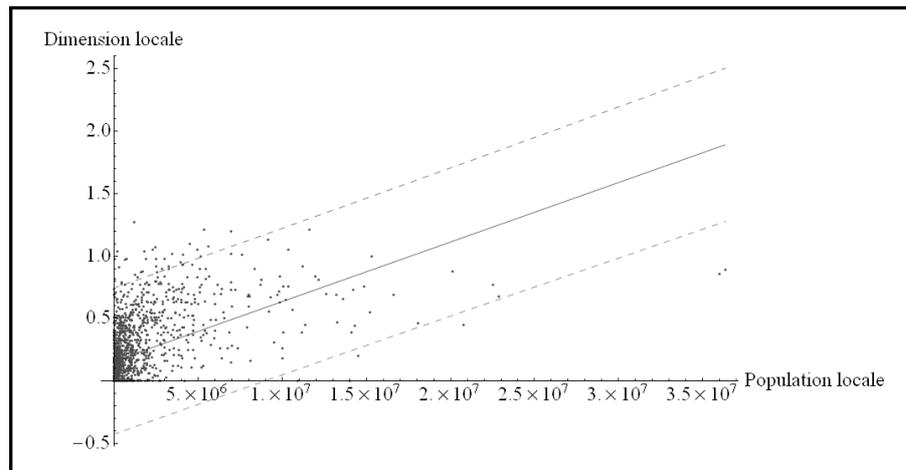


Figure 147. Projection du nuage de points de la population locale et de la dimension fractale locale

$$D = 4,766 \times 10^{-8} (\pm 0,207 \times 10^{-8}) P$$

avec $N = 1\,518$ carrés et une probabilité supérieure à 10^{-3} ($t = 23,050$)

17.1.1.4. Loi rang - taille et distribution parétienne

Pour répondre à cette interrogation, il faudra développer d'autres considérations. Dans le cas des données brutes, l'étude de la distribution statistique du nombre d'habitants est impossible, car si les séries rang - taille sont continues au niveau de chaque État, ce n'est plus le cas à l'échelle du monde. Ainsi, il ne suffit pas d'ordonner la totalité des données de la base *Tageo* pour obtenir une loi rang - taille et une distribution statistique parétienne à l'échelle du monde. Il faut nécessairement se munir d'un seuil de population à partir duquel on peut réaliser une telle étude à l'échelle planétaire.

17.1.2. Données avec un filtre de population à 144 000 habitants

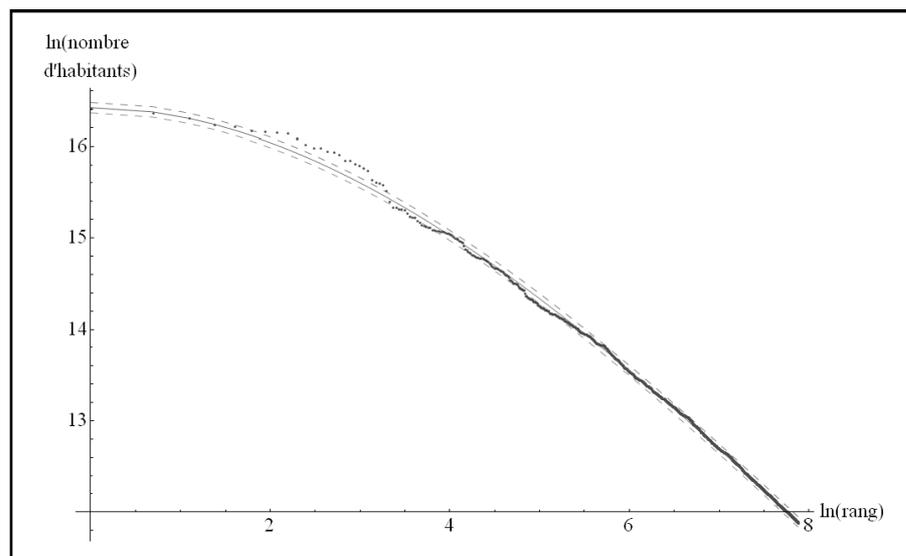
Il est difficile de fixer un seuil entre les structures urbaines et les structures rurales, même s'il apparaît clairement dans certaines distributions rang - taille (Pumain, 1982 ; Moriconi-Ébrard, 1994). Il n'est pas évident de les projeter à l'échelle du monde. Un exemple simple permet de le comprendre. Peut-on prendre le seuil de population urbain-rural de la Chine pour étudier le territoire du Belize ? La réponse est sans conteste négative. « Que ce soient 100 000, 500 000 ou 1 000 000 d'habitants, les seuils retenus sont de toute manière beaucoup plus élevés pour servir à une étude générale de l'urbanisation » (Moriconi-Ébrard, 1994, p. 9). Toutefois, la base *Tageo* permet d'obtenir une série continue sur une gamme importante de population urbaine à l'échelle mondiale. Le seuil de cette dernière correspond au nombre d'habitants le plus élevé au niveau des 300^e rangs. En effet, si l'on prend toutes les valeurs des rangs n°300 de la base, et que l'on prend la valeur maximale de cette série, on obtient le seuil à partir duquel la série est étudiable. Dans ce cas, ce seuil est fixé par le 300^e rang de la Chine, à savoir un nombre de 144 300 habitants. On peut donc étudier une série continue allant du rang 1 au rang 2 668 (qui est celui du seuil fixé). Cette série pourra bien évidemment être une nouvelle fois étudiée via une loi rang - taille et une distribution parétienne, mais en plus, on peut projeter la répartition des lieux correspondants à ces relations et en effectuer une analyse fractale.

17.1.2.1. Loi rang - taille et distribution parétienne

Le classement obtenu avec un seuil de 144 300 habitants comporte 2 668 villes. Ce paragraphe essaiera d'en décrire les principales caractéristiques à travers une loi rang - taille d'une part, une distribution parétienne d'autre part.

■ Loi rang - taille à un seuil de 144 300 habitants

La Figure 148 représente le classement rang - taille obtenu. Elle ne correspond pas à un ajustement linéaire, ni à un ajustement à un polynôme du second degré qui avait été observé sur les 435 premières conurbations du monde d'après le classement de l'ONU (Forriez et Martin, 2007 ; Forriez et Martin, 2009), mais à un polynôme du troisième degré de la forme $y = d + bx^2 + ax^3$. Bien que significatif, le terme en cx ne semble pas utile, car sa suppression permet d'obtenir un ajustement de meilleure qualité. Autrement dit, plus l'échantillon acquiert une certaine taille, plus le simple modèle linéaire est difficilement acceptable pour définir les relations rang - taille. Qu'en est-il de la relation entre loi rang - taille et distribution de Pareto dans ce cas ?



$$\ln P = 16,417(\pm 0,004) - 0,101(\pm 0,001)\ln^2 r + 0,004(\pm 0,001)\ln^3 r$$

Figure 148. Loi rang - taille à l'échelle du monde avec un seuil de 144 300 habitants

■ Distribution parétienne à un seuil de 144 300 habitants

Les données filtrées présentent un échantillon beaucoup plus important par rapport à ceux qui ont été étudiés dans le chapitre précédent. En effet, si la relation rang - taille est devenue plus complexe, ce n'est pas le cas de l'exposant α de Pareto. La relation observée (Figure 149) montre une loi de puissance (figure de gauche), confirmée par un ajustement linéaire de très bonne qualité (figure de droite).

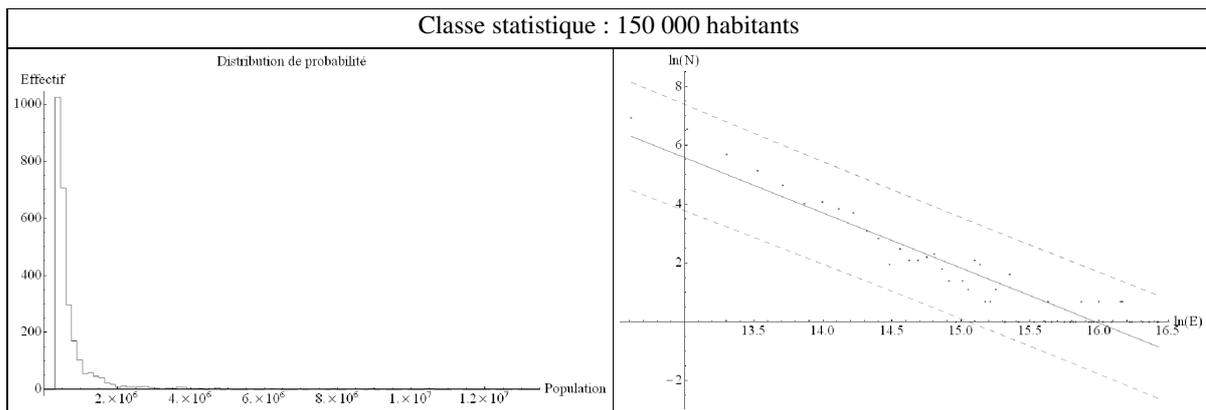


Figure 149. Distribution parétienne observée

Dès lors, on pourrait penser que l'exposant α de Pareto devait, en principe, être un meilleur indicateur que l'ajustement d'une loi rang - taille, car la relation linéaire se maintient à la différence de celle de la loi rang - taille. Malheureusement, les résultats présentés dans la Figure 150 montrent le contraire : les exposants α de Pareto varient en fonction du pas (ou de la classe statistique) choisi. Il faut remarquer que la classe statistique correspond ici à une résolution ε . Ce résultat est surprenant, car si les propriétés scalantes de la loi de Pareto sont connus depuis longtemps (Mandelbrot, 1963 ; Zajdenweber, 1976), le fait que l'exposant α de Pareto varie lui-même en fonction de la classe statistique à laquelle il a été estimée n'a fait l'objet d'aucun travail, du moins, si l'on prend pour référence la dernière publication de Daniel Zajdenweber (2009, p. 212-213). Les résultats ponctuels de la Figure 150 peuvent être améliorés en calculant toutes les valeurs de l'exposant α de Pareto entre 150 000 et 5 000 000 d'habitants en prenant un pas de 100 000 habitants (Figure 151). Il est clair que l'exposant α de Pareto varie explicitement en fonction de la résolution ε . Autrement dit, le cas observé ici n'est ni plus ni moins que celui de la « dynamique d'échelle » longuement détaillé dans l'étude de cas d'Avignon (cf. chapitre 8). Ainsi, il est plus pertinent de mettre l'exposant α de Pareto en fonction du logarithme de la résolution ε . Cependant, le modèle statistique est beaucoup plus difficile à établir, mais le choix peut se restreindre à quatre ajustements (Figure 151).

Classe statistique ε	Exposant α de Pareto
150 000 habitants	$1,877 \pm 0,095$
500 000 habitants	$2,355 \pm 0,162$
1 000 000 d'habitants	$2,725 \pm 0,189$
2 000 000 d'habitants	$3,530 \pm 0,213$

Figure 150. Classe statistique et exposant de Pareto

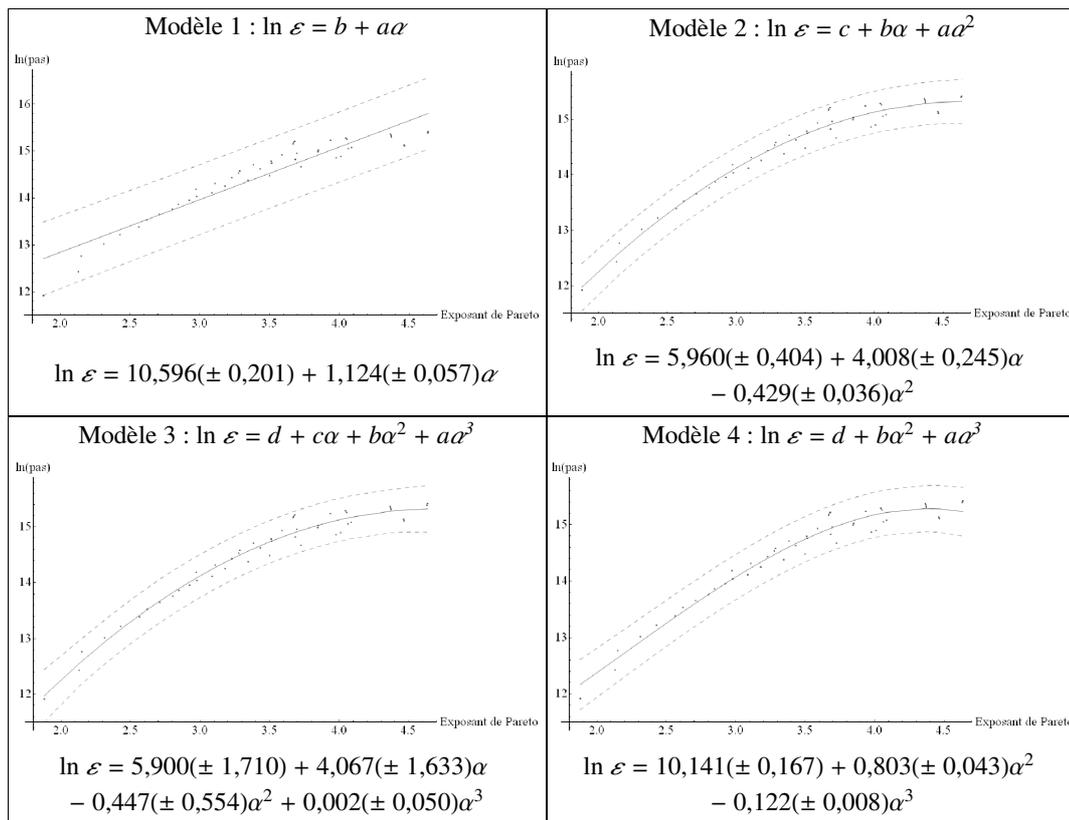


Figure 151. Estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » avec un exposant de Pareto

Le modèle n°4 de Figure 151 semble être le plus séduisant, car son équation est d'une forme identique à celle de la Figure 148. Il paraît très audacieux d'essayer de mettre en correspondance, dans ce cas précis, la loi rang - taille et cette variation de l'exposant α de Pareto. Il demeure cependant possible d'affirmer que lorsque la loi rang - taille ne correspond plus à un modèle linéaire, cela signifie certainement que l'exposant α de Pareto suit lui-même un processus fractal de type « dynamique d'échelle ». Ce qui permet de comprendre, du moins en partie, pourquoi la répartition spatiale de l'établissement humain est elle-même fractale. Autrement dit, la correspondance entre la loi rang - taille et les distributions parétiennes s'effectue, non pas par un exposant α de Pareto, mais par la variation de cet exposant α de Pareto en fonction de la classe du nombre d'habitants choisie.

17.1.2.2. Analyse fractale de la répartition de l'établissement humain à un seuil de 144 300 habitants

L'analyse fractale des données brutes était un essai criticable. Ainsi, une nouvelle analyse fractale avec un seuil de 144 300 habitants est également nécessaire pour homogénéiser les répartitions (Figure 152). Si l'on compare cette carte avec la Figure 141, on constate que l'Afrique subsaharienne et que l'Amérique du Sud étaient surreprésentées dans le premier calcul. En toute logique, la structure fractale ne change pas (Figure 153 et Figure 154). Les deux dimensions fractales observées sont du même ordre de grandeur. Une nouvelle fois, seule l'échelle de coupure est différente, car la qualité des données a été dégradée. Ainsi, on passe d'une échelle de coupure valant 245 km (Figure 143) à une autre valant 403 km (Figure 154).

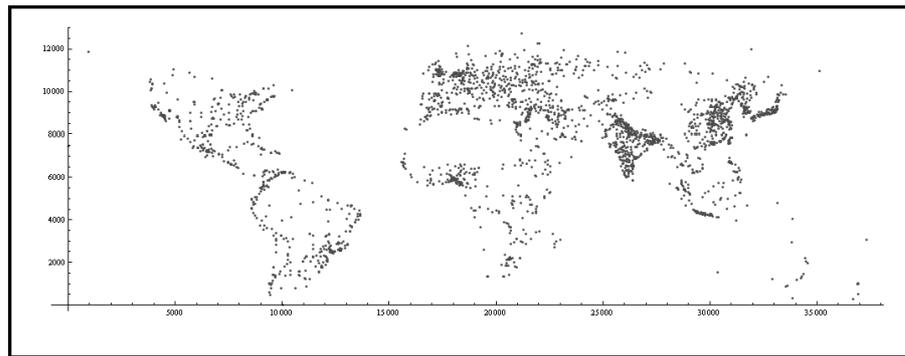


Figure 152. Répartition de l'établissement humain avec un seuil de 144 300 habitants

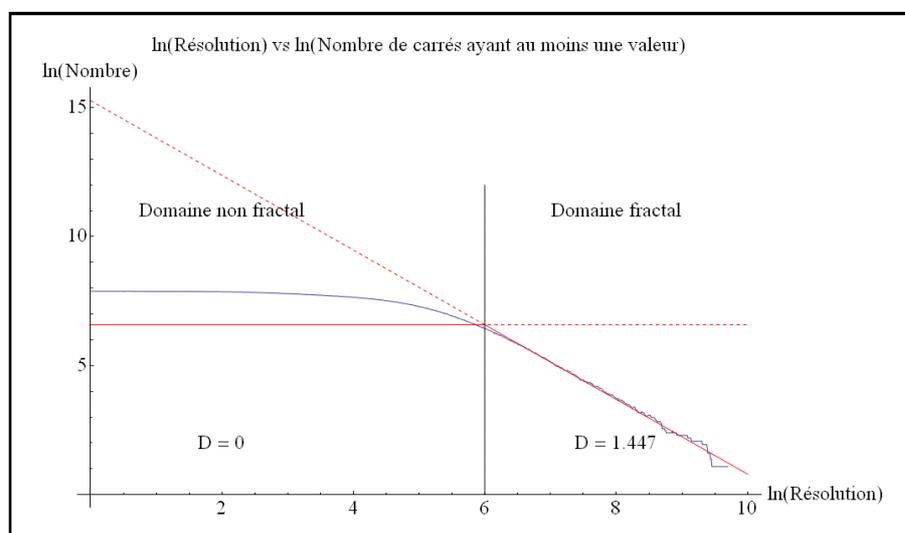


Figure 153. Analyse fractale globale de la répartition de l'établissement humain avec un seuil de 144 300 habitants

Nombre de localisation	2 668
Échantillon	11 % de la base de données
Nombre d'habitants	1 492 590 000
Échelle de coupure	403 km
Échelle maximale	16 318 km
Dimension fractale	1,447 ± 0,005

Figure 154. Paramètres de la structure fractale globale de la répartition de l'établissement humain avec un seuil de 144 300 habitants

L'analyse fractale locale avec un seuil de 144 300 habitants (Figure 155 et Figure 156) est beaucoup plus lisible que celle réalisée avec les données brutes. Les principaux centres du monde apparaissent à l'instar de l'analyse effectuée sur les châteaux. Les pics de dimensions fractales observés correspondent aux foyers de peuplement évoqués dans le chapitre 15 (Figure 155 et Figure 157). La Figure 158 établit qu'il existe une relation linéaire entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local. Ainsi, les résultats obtenus sur les données brutes sont confirmés dans le cas d'une répartition filtrée.

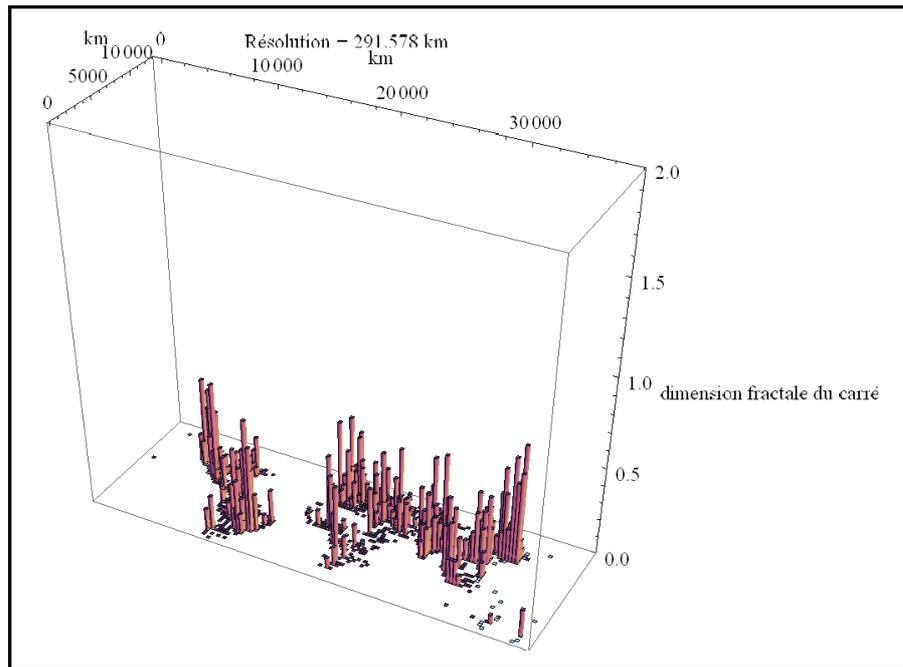


Figure 155. Dimension fractale locale contenue dans chaque carré avec un seuil de 144 300 habitants

Taille de carrés	291,578 km
Nombre de carrés	878
Dimension fractale moyenne	0,052
Écart-type	0,106

Figure 156. Paramètres de la dimension fractale locale avec un seuil de 144 300 habitants

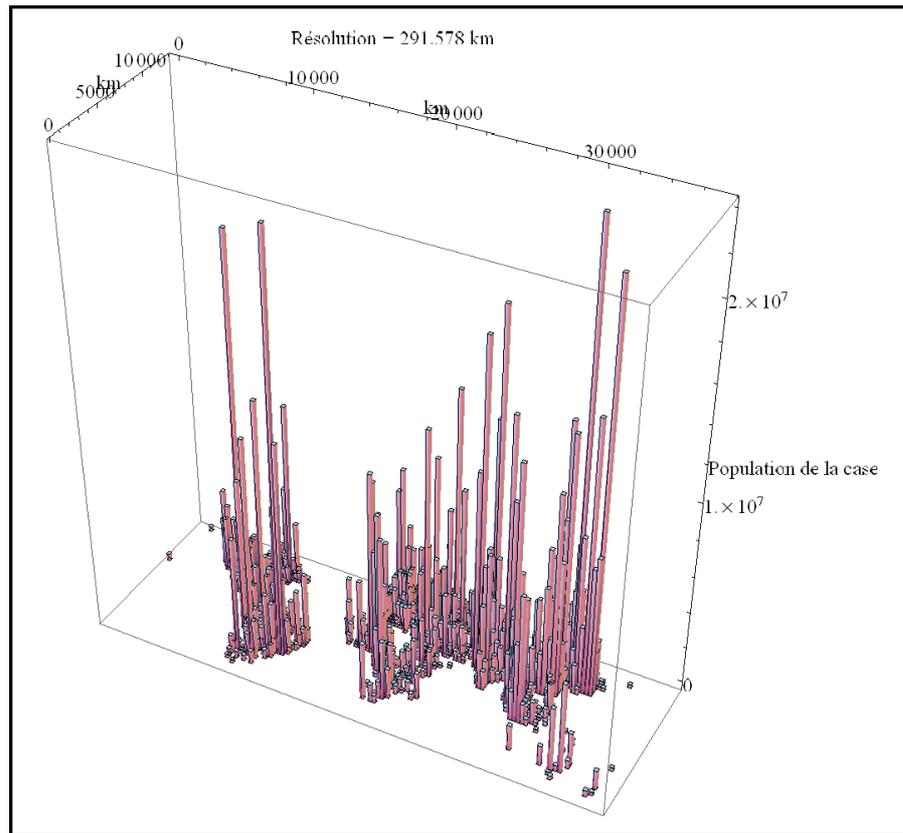


Figure 157. Structure locale de la répartition de la population à l'échelle du monde avec un seuil de 144 300 habitants

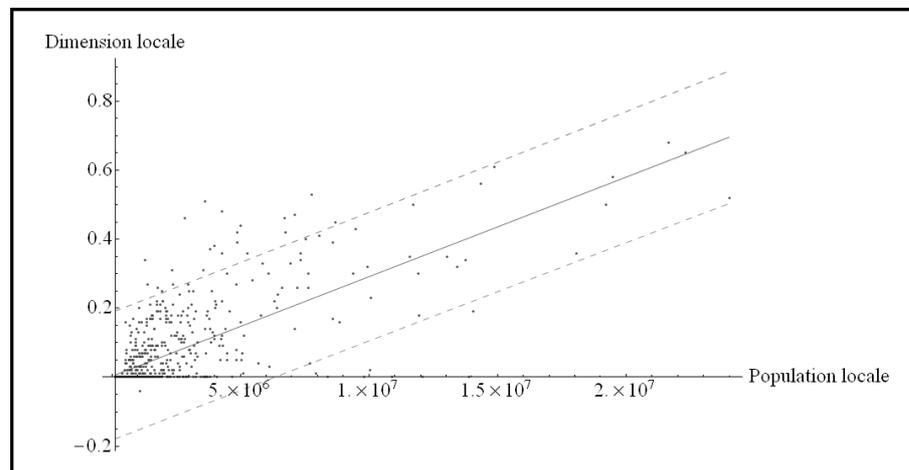


Figure 158. Projection du nuage de points de la population locale et de la dimension fractale locale avec un seuil de 144 300 habitants

$$D = 2,887 \times 10^{-8} (\pm 0,089 \times 10^{-8}) P$$

avec $N = 877$ carrés et une probabilité supérieure à 10^{-3} ($t = 32,391$)

17.1.3. Données avec un filtre de population à 1 million d'habitants

Avant de passer à la conclusion de cette partie et d'analyser la structure fractale de chaque continent, il semble très intéressant de montrer les résultats de l'analyse avec un seuil fixé à 1 million d'habitants (Figure 159). En effet, cette répartition correspond aux grands foyers de population antiques : le bassin méditerranéen, la Perse, les vallées de l'Indus et du Gange, les vallées des fleuves Jaune et Bleu, la vallée du Nil, le Nigeria, les Grands lacs africains, les Andes et le Mexique. À ceux-ci, il faut ajouter les foyers médiévaux et modernes : les grands lacs nord-américains, la Russie européenne et le Rio de la Plata. Autrement dit, la position des grandes agglomérations actuelles correspond à une inertie historique pluri-millénaire masquée par la mobilité apparente du monde contemporain et par la croissance importante des villes dites moyennes (Pumain, 1982 ; Baudelle, 2003).

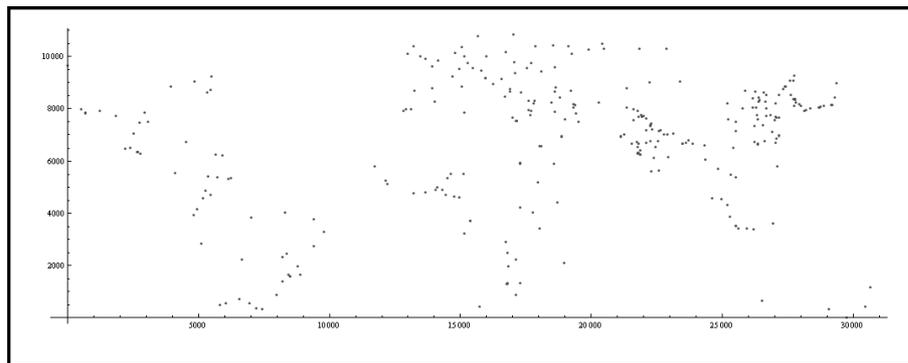
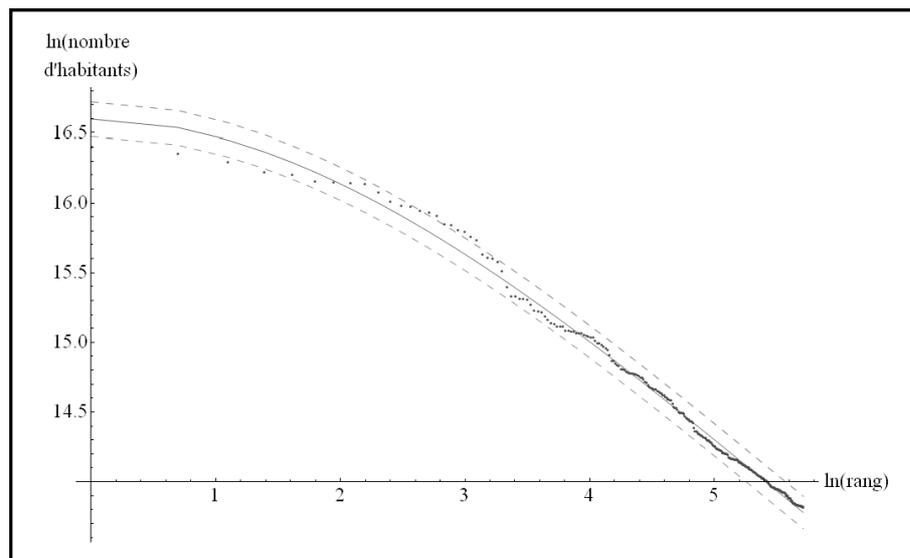


Figure 159. Répartition de l'établissement humain avec un seuil de 1 000 000 habitants

17.1.3.1. Loi rang - taille et distribution parétienne à un seuil de 1 000 000 habitants

Avec ce seuil, la nouvelle loi rang - taille contient les 303 premiers rangs. On aurait pu espérer une linéarisation de la loi comme le laisser suggérer la Figure 148, ou au moins un polynôme du second degré (Forriez et Martin, 2007 ; Forriez et Martin, 2009). Il n'en est rien (Figure 160). Le meilleur ajustement est obtenu avec un polynôme du troisième degré de la forme $y = d + bx^2 + ax^3$. Cela entraîne un exposant α de Pareto variable dont les paramètres d'étude sont précisés dans la Figure 161. La Figure 162 donne les modèles possibles. Comme dans le cas précédent, le choix va se porter sur le modèle n°4 pour conserver une unité de forme dans les équations.



$$\ln P = 16,597(\pm 0,016) - 0,013(\pm 0,003)\ln^2 r + 0,008(\pm 0,001)\ln^3 r$$

Figure 160. Loi rang - taille à l'échelle du monde avec un seuil de 1 000 000 habitants

Classe minimale	150 000 habitants
Classe maximale	2 000 000 habitants
Intervalle	100 000 habitants

Figure 161. Paramètres de l'exposant de Pareto

Modèle 1	$\ln \varepsilon = 10,190(\pm 0,301) + 1,405(\pm 0,119)\alpha$
Modèle 2	$\ln \varepsilon = 5,959(\pm 0,716) + 4,980(\pm 0,592)\alpha - 0,727(\pm 0,120)\alpha^2$
Modèle 3	$\ln \varepsilon = 7,470(\pm 3,181) + 3,020(\pm 4,060)\alpha + 0,092(\pm 1,683)\alpha^2 - 0,111(\pm 0,227)\alpha^3$
Modèle 4	$\ln \varepsilon = 9,827(\pm 0,271) + 1,340(\pm 0,129)\alpha^2 - 0,278(\pm 0,033)\alpha^3$

Figure 162. Estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » avec un exposant de Pareto

17.1.3.2. Analyse fractale de la répartition de l'établissement humain à un seuil de 1 000 000 habitants

On retrouve une nouvelle fois une dimension fractale du même de grandeur que les deux précédentes avec une nouvelle dégradation de l'échelle de coupure (Figure 163). En effet, on est successivement passé de 245 à 403 km, puis de 403 à 1 097 km. Dans ce cas, l'estimation de dimensions fractales locales permet de retrouver les grands bassins de peuplement : Nigeria, Mexique, Andes, Inde, Chine, *etc.* (Figure 164).

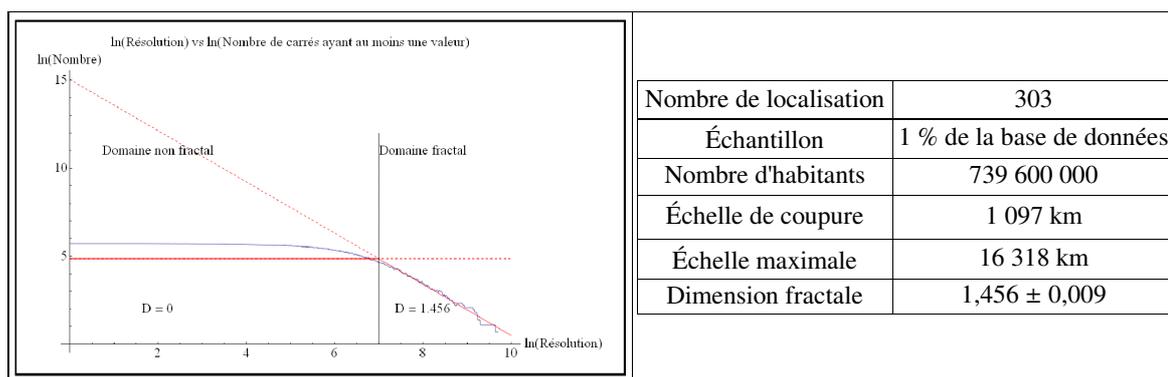


Figure 163. Dimension fractale globale de la répartition de l'établissement humain avec un seuil de 1 000 000 habitants

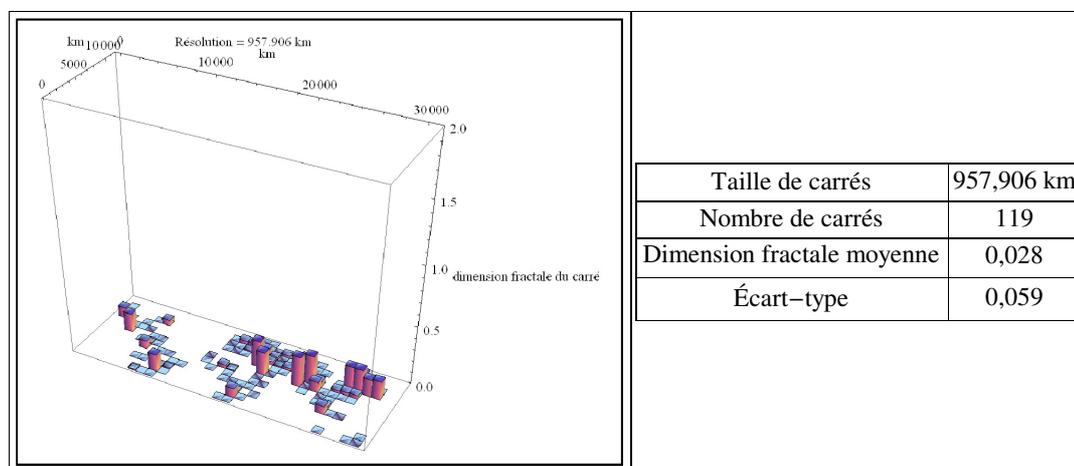


Figure 164. Dimension fractale locale de la répartition de l'établissement humain avec un seuil de 1 000 000 habitants

De plus, une nouvelle fois, il existe une relation linéaire entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants du carré telle que $D = 0,751 \times 10^{-8} (\pm 0,051 \times 10^{-8}) P$ avec un effectif de 118 cases et une variable t de Student valant 14,754 (soit une probabilité associée supérieure à 10^{-3}). Si on compare ce résultat avec ceux présentés dans les Figures 147 et 158, on remarque qu'en fonction du filtre, la valeur de la pente est plus forte avec les données brutes qu'avec les données filtrées. Analogiquement, cette relation ressemble à la loi d'Ohm qui associe la tension et l'intensité d'un courant électrique avec une constante appelée résistance. Malheureusement, ici, on ne peut pas établir qui joue le rôle de la tension et qui joue le rôle de l'intensité. Toutefois, les pentes obtenues pourraient s'appeler « résistance en échelle » ou « inverse de la résistance en échelle ».

La structure multi-échelle du monde est donc doublement scalaire. Elle concerne à la fois l'exposant de Pareto caractérisant les distributions de probabilité d'avoir des lieux avec un certain nombre d'habitants, ainsi que la répartition spatiale de ces lieux. La robustesse de la forme des équations concernant les lois rang - taille et les variations de l'exposant de Pareto est tout à fait remarquable à plus d'un titre. Tout d'abord, elle prouve la fractalité intrinsèque des données concernant la population agglomérée. Ensuite, cela peut être un indice expliquant la fractalité de la répartition des lieux que l'organisation de ces populations induit. Afin de compléter l'étude, une approche par continent semble être intéressante.

17.2. À l'échelle continentale

On peut aisément appliquer les méthodes précédentes à l'échelle continentale qui présente un double intérêt. Il s'agit d'abord de diviser les lois rang - taille avec des seuils de continuité plus petit, chaque continent possédant son propre seuil. Ainsi, le seuil de continuité identifié précédemment va varier en fonction de l'ensemble continental considéré, donc de ses spécificités de peuplement. Enfin, cette échelle permet d'estimer des dimensions fractales sans le biais introduit par l'océan. Quatre grands ensembles ont été choisis : l'Eurasie, l'Amérique, l'Afrique et l'Océanie.

17.2.1. L'Eurasie

Le découpage continental permet d'atteindre des seuils de population beaucoup plus bas par rapport à l'échelle mondiale, en suivant le même raisonnement que celui qui a permis la construction du seuil à 144 300 habitants à l'échelle du monde. Ce n'est pas le cas ici, car le seuil mondial est fixé par la Chine. Par conséquent, le seuil du continent eurasiatique est le même que celui du monde. Il est étonnant de constater que la dimension fractale globale de ce continent soit celle estimée pour le monde (Figure 165). Les dimensions fractales locales permettent une nouvelle fois de retrouver les grands foyers historiques de population sur ce continent (Figure 166).

Par contre, la structure fractale de la population est légèrement différente. En effet, dans ce cas, un polynôme du second degré est le meilleur ajustement estimé pour la loi rang - taille (Figure 167). Autrement dit, le meilleur ajustement pour la variation de l'exposant de Pareto (dont les paramètres sont résumés au sein de la Figure 168) semble être le modèle n°2 de la Figure 169. Pour finir, on peut ajouter que la relation entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local est toujours de la même nature que pour l'analyse à l'échelle mondiale. Dans ce cas, on observe $D = 2,978 \times 10^{-8} (\pm 0,104 \times 10^{-8}) P$ avec un effectif de 905 cases et une variable t de Student valant 28,655 (soit une probabilité associée supérieure à 10^{-3}).

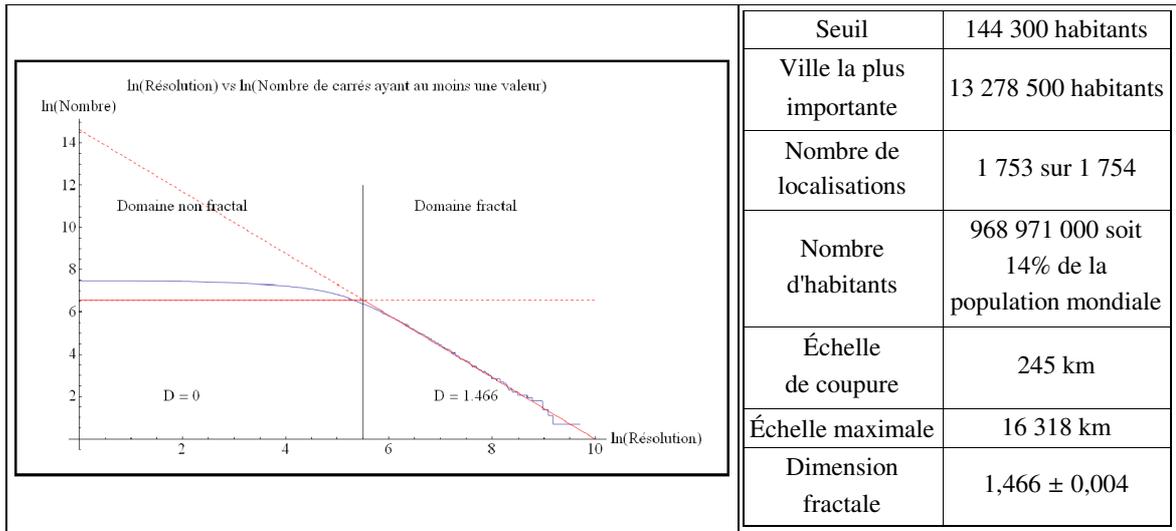


Figure 165. Dimension fractale globale du continent eurasiatique

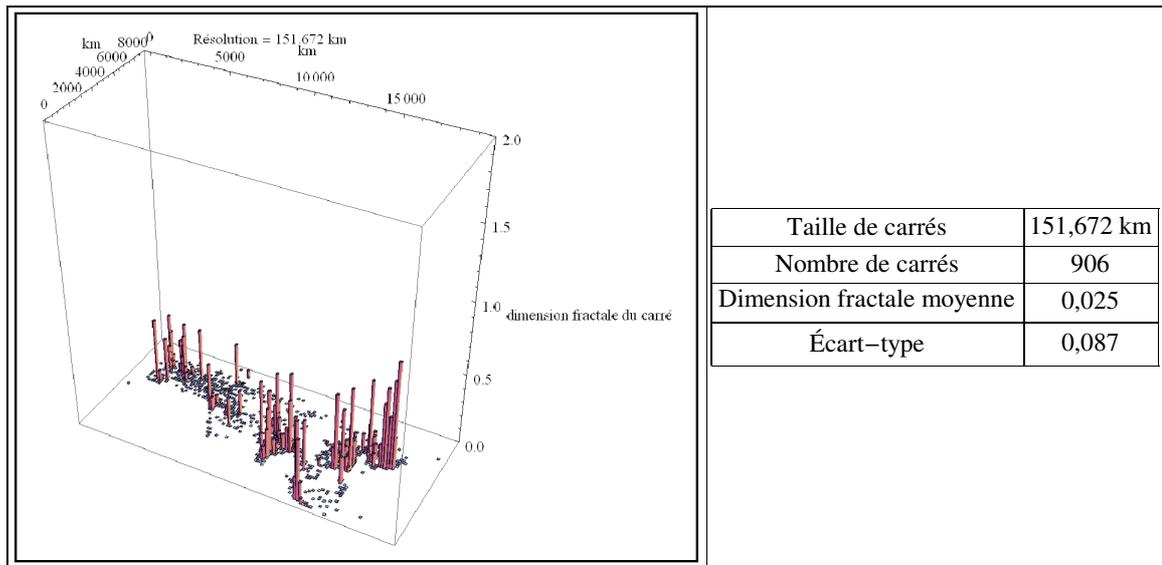
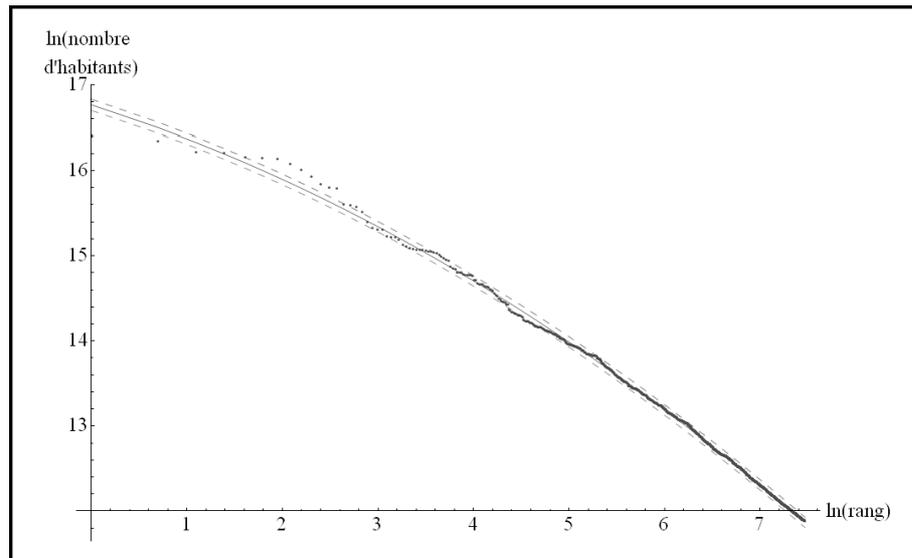


Figure 166. Dimensions fractales locales du continent eurasiatique



$$\ln P = 16,766(\pm 0,010) - 0,353(\pm 0,004)\ln r - 0,041(\pm 0,001)\ln^2 r$$

Figure 167. Loi rang - taille sur la répartition des établissements humains à l'échelle du continent eurasiatique

Classe minimale	150 000 habitants
Classe maximale	4 000 000 habitants
Intervalle	100 000 habitants

Figure 168. Paramètres de l'exposant de Pareto

Modèle 1	$\ln \varepsilon = 10,845(\pm 0,195) + 1,093(\pm 0,054)\alpha$
Modèle 2	$\ln \varepsilon = 6,810(\pm 0,377) + 3,626(\pm 0,229)\alpha - 0,378(\pm 0,034)\alpha^2$
Modèle 3	$\ln \varepsilon = 8,998(\pm 1,326) + 1,487(\pm 1,265)\alpha + 0,285(\pm 0,388)\alpha^2 - 0,066(\pm 0,038)\alpha^3$
Modèle 4	$\ln \varepsilon = 10,546(\pm 0,738) + 0,738(\pm 0,037)\alpha^2 - 0,110(\pm 0,007)\alpha^3$

Figure 169. Estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » avec un exposant de Pareto

La suite de cette partie propose de poser les résultats obtenus sur les trois autres ensembles continentaux.

17.2.2. L'Amérique

L'Amérique est le seul continent qui possède la totalité des sites anthropiques géolocalisés au seuil fixé. Toutefois, il faut remarquer que la Guyane française, ainsi que les différentes îles européennes des Antilles ne font pas parties du classement. Par exemple, la population de la Guyane a été « noyée » dans les statistiques françaises. Ce complément à apporter à la base de données est minime. Aussi, on suppose qu'il n'intervient pas dans les résultats présentés.

La Figure 170 montre que la dimension fractale globale du continent américain est nettement inférieure à celle du monde. Cela est sans nul doute dû à son peuplement tardif par rapport au reste du monde. Malgré tout, la Figure 171 établit bien les foyers de populations primitifs (Amérique centrale et Rio de la Plata).

L'ajustement de la loi rang - taille est un polynôme du second degré (Figure 172) comme dans le cas de l'Eurasie. On peut donc considérer que le meilleur ajustement pour la variation de l'exposant de Pareto (dont les paramètres sont résumés dans la Figure 173) est le modèle n°2 de la Figure 174.

De plus, pour ce cas la relation entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local, on observe $D = 4,206 \times 10^{-8} (\pm 0,222 \times 10^{-8}) P$ avec un effectif de 548 cases et une variable t de Student valant 18,962 (soit une probabilité associée supérieure à 10^{-3}).

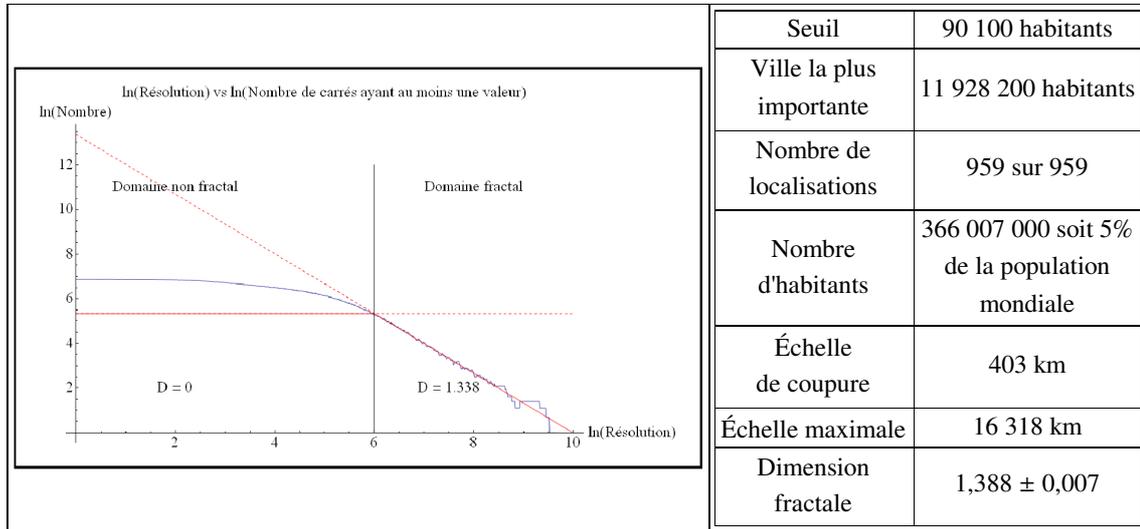


Figure 170. Dimension fractale globale du continent américain

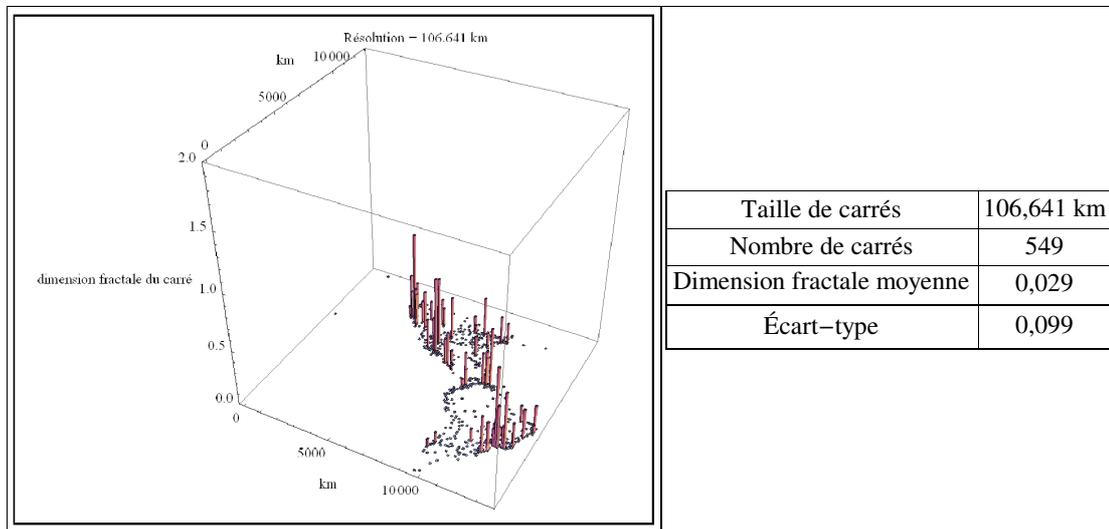
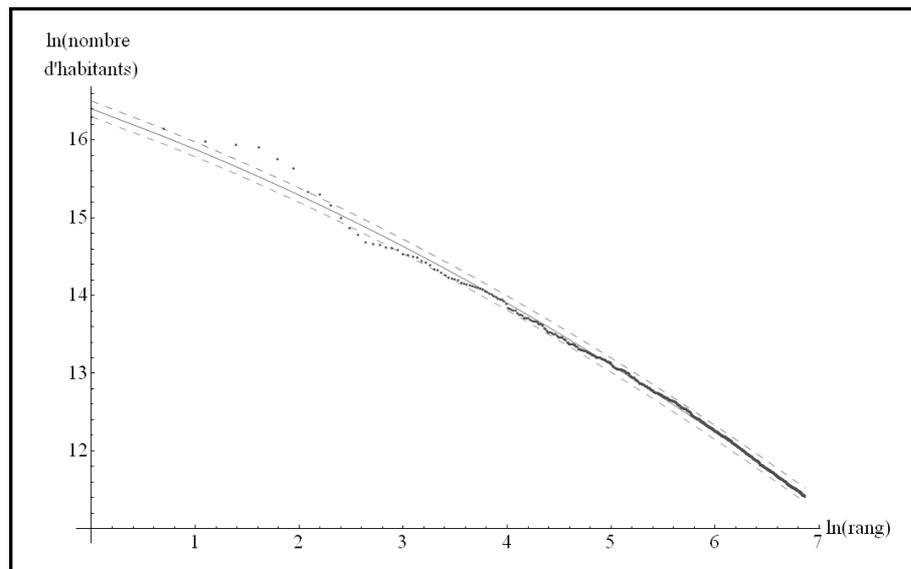


Figure 171. Dimensions fractales locales du continent américain



$$\ln P = 16,403(\pm 0,017) - 0,487(\pm 0,007)\ln r - 0,034(\pm 0,001)\ln^2 r$$

Figure 172. Loi rang - taille sur la répartition des établissements humains à l'échelle du continent américain

Classe minimale	150 000 habitants
Classe maximale	5 000 000 habitants
Intervalle	100 000 habitants

Figure 173. Paramètres de l'exposant de Pareto

Modèle 1	$\ln \varepsilon = 10,811(\pm 0,139) + 1,112(\pm 0,041)\alpha$
Modèle 2	$\ln \varepsilon = 8,397(\pm 0,248) + 2,840(\pm 0,170)\alpha - 0,286(\pm 0,028)\alpha^2$
Modèle 3	$\ln \varepsilon = 7,364(\pm 0,754) + 4,035(\pm 0,836)\alpha - 0,709(\pm 0,293)\alpha^2 + 0,048(\pm 0,033)\alpha^3$
Modèle 4	$\ln \varepsilon = 10,963(\pm 0,125) + 0,695(\pm 0,039)\alpha^2 - 0,108(\pm 0,008)\alpha^3$

Figure 174. Estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » avec un exposant de Pareto

17.2.3. L'Afrique

Berceau de l'humanité, le réseau africain a une dimension fractale globale très proche de celle à l'échelle du monde, malgré sa faible population totale (Figure 175). La Figure 176 établit une nouvelle fois les grands foyers de population : Afrique du Nord, le bassin du Nil, les Grands Lacs africain et le Nigeria.

L'ajustement de la loi rang - taille (Figure 177) est encore un polynôme du second degré. On peut donc considérer que le meilleur ajustement pour la variation de l'exposant de Pareto (dont les paramètres sont résumés dans la Figure 178) est encore le modèle n°2 de la Figure 179.

Une nouvelle fois, il existe une relation linéaire entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local. Dans ce cas, on observe $D = 5,086 \times 10^{-8} (\pm 0,381 \times 10^{-8}) P$ avec un effectif de 1 116 cases et une variable t de Student valant 13,362 (soit une probabilité associée supérieure à 10^{-3}).

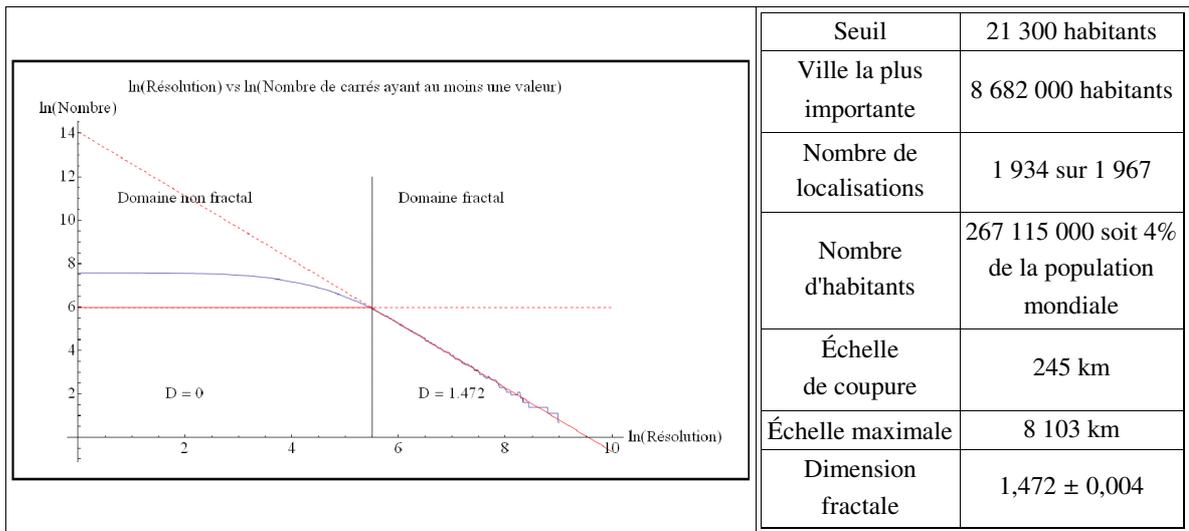


Figure 175. Dimension fractale globale du continent africain

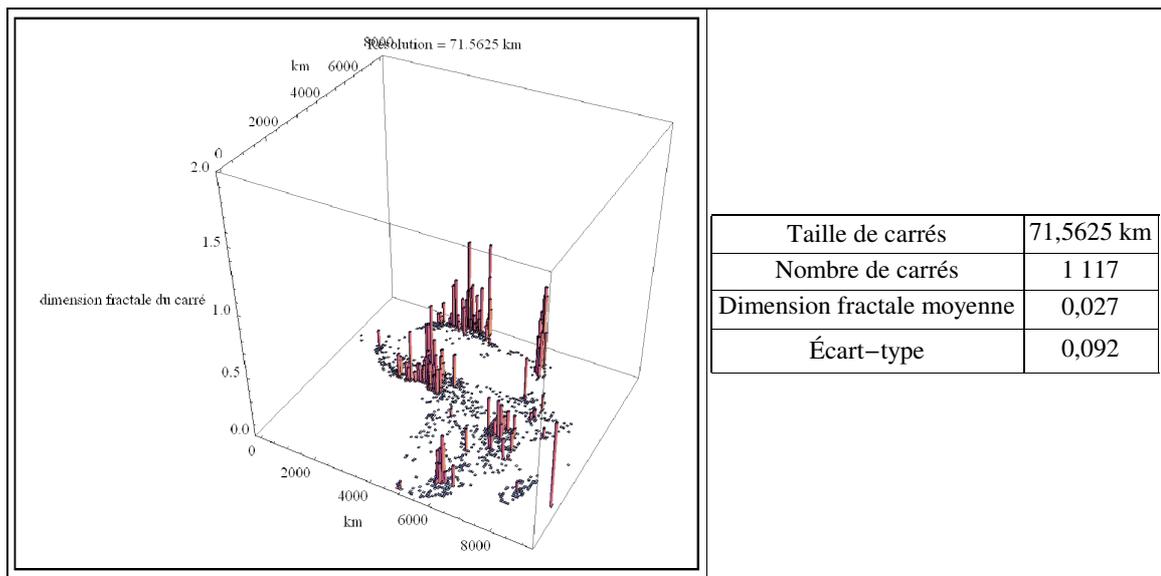
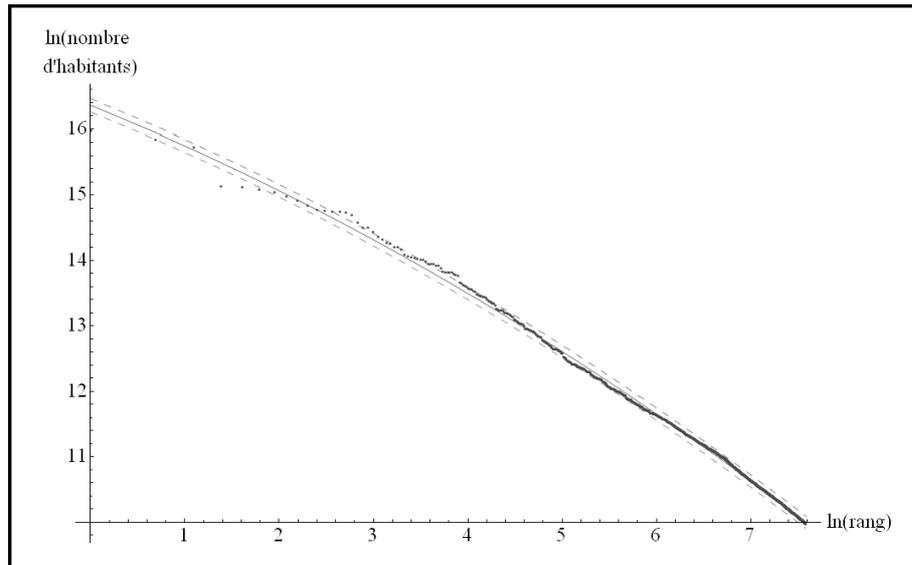


Figure 176. Dimensions fractales locales du continent africain



$$\ln P = 16,362(\pm 0,015) - 0,580(\pm 0,005)\ln r - 0,034(\pm 0,001)\ln^2 r$$

Figure 177. Loi rang - taille sur la répartition des établissements humains à l'échelle du continent africain

Classe minimale	25 000 habitants
Classe maximale	4 000 000 habitants
Intervalle	100 000 habitants

Figure 178. Paramètres de l'exposant de Pareto

Modèle 1	$\ln \varepsilon = 10,552(\pm 0,211) + 0,967(\pm 0,054)\alpha$
Modèle 2	$\ln \varepsilon = 7,605(\pm 0,302) + 2,887(\pm 0,186)\alpha - 0,282(\pm 0,027)\alpha^2$
Modèle 3	$\ln \varepsilon = 3,759(\pm 0,446) + 7,039(\pm 0,459)\alpha - 1,638(\pm 0,147)\alpha^2 + 0,137(\pm 0,015)\alpha^3$
Modèle 4	$\ln \varepsilon = 10,510(\pm 0,204) + 0,597(\pm 0,050)\alpha^2 - 0,084(\pm 0,009)\alpha^3$

Figure 179. Estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » avec un exposant de Pareto

17.2.4. L'Océanie

La structure de l'Océanie qui compte environ 1 700 îles dont 500 habitées (Dumont, 2004), est incomplète, car elle comporte des milliers d'îles dépendant de la France, du Royaume-Uni et des États-Unis, pour ne citer que les principaux, que la base *Tageo* ne prend pas en compte puisqu'elles ne sont pas souveraines, ce qui fait que le nombre de leurs habitants est rattaché à la métropole dont elles dépendent. Le problème apparaît clairement : que pèse le nombre d'habitants à Papeete par rapport à celui d'une ville moyenne de la métropole française ? Ainsi, toutes ces données sont absentes de la base. En ayant conscience de ce problème, une analyse continentale de l'Océanie peut être menée.

Malgré tout, la dimension fractale globale du réseau océanien est beaucoup plus proche de celle à l'échelle du monde que ne l'est celle à l'échelle de l'Amérique (Figure 180). On aurait pu penser que la structure insulaire spécifique à ce continent allait perturber les résultats que l'on a obtenus jusqu'à présent sur les autres continents. La Figure 181 montre le contraire : on établit les différents foyers de populations : la côte est de l'Australie, la Nouvelle-Zélande, les Fiji et la Polynésie.

L'ajustement obtenu pour la loi rang - taille est très particulier. En effet, contrairement aux autres continents, l'Océanie possède un seuil très bas de 227 habitants, ce qui permet d'observer vraisemblablement la rupture entre l'urbain et le rural. La Figure 182 illustre à ce propos que deux ajustements linéaires peuvent être établis, marquant bien deux régimes, à l'instar des transitions observées sur différentes lois d'échelle. Le « rang de coupure » est le numéro 244 ; il correspond à une population de 7 300 habitants. Cette information permet de mieux paramétrer la courbe de la variation de l'exposant de Pareto en choisissant une classe minimale proche de la valeur de la population au rang critique (Figure 183). Le choix du modèle dans la Figure 184 est donc beaucoup évident que dans les autres continents. Cependant, il ne semble pas déraisonnable de penser qu'il s'agit encore une fois du modèle n^2 (Figure 184), car l'alignement des points ne forme pas une droite (Figure 184). De plus, il s'agit du modèle que l'on a systématiquement rencontré dans les trois autres continents. Tous ces résultats sont bien sûr à confirmer en ajoutant les données manquantes.

L'Océanie est le seul cas où la relation linéaire entre la dimension fractale locale et le nombre d'habitants local n n'est pas significatif puisque l'on observe $D = 2,092 \times 10^{-8} (\pm 0,213 \times 10^{-8}) P$ avec un effectif de 341 cases et une variable t de Student valant 0,981 (soit une probabilité associée inférieure à 10^{-1}).

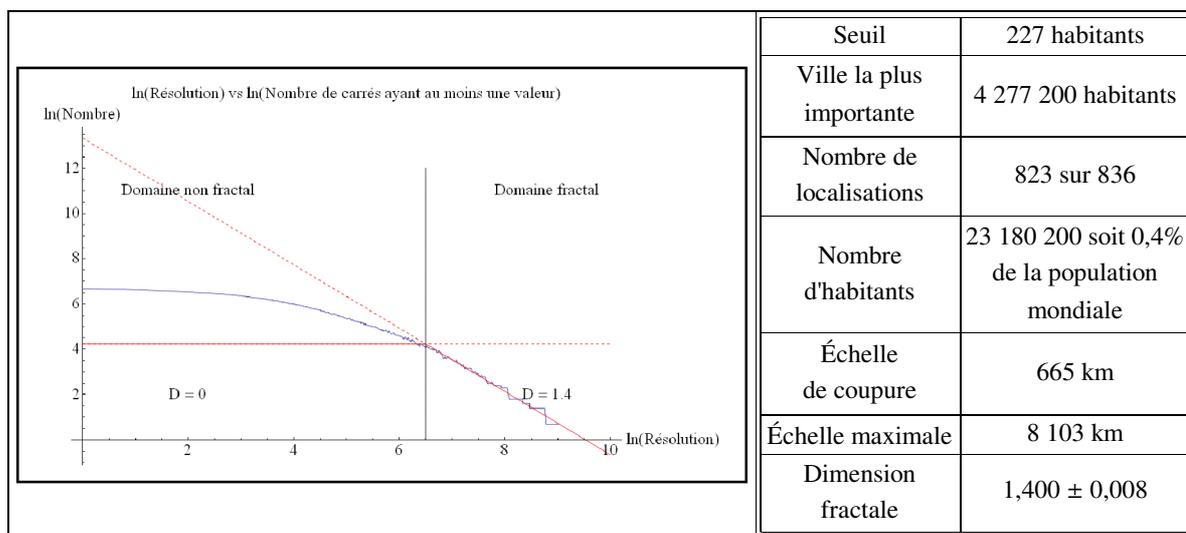


Figure 180. Dimension fractale globale du continent océanien

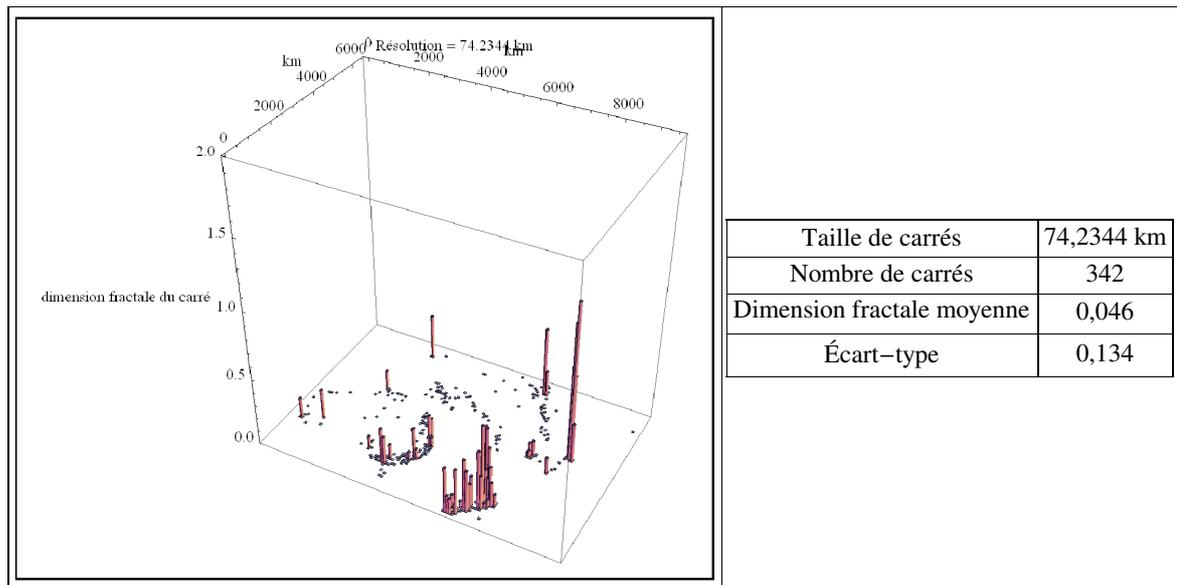
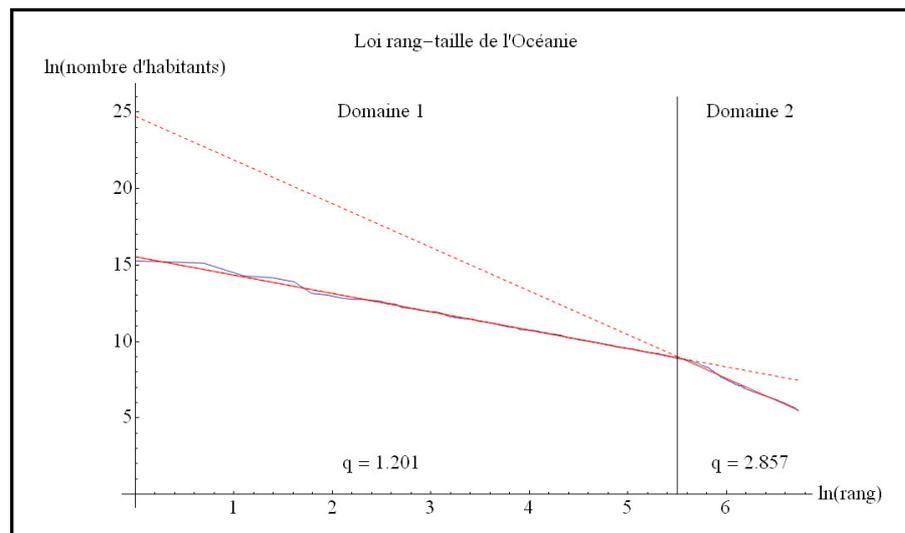


Figure 181. Dimensions fractales locales du continent océanien



Domaine n°1 : $\ln P = 15,536(\pm 0,017) - 1,201(\pm 0,004)\ln r$ (taille de l'échantillon : 244)

Domaine n°2 : $\ln P = 24,721(\pm 0,063) - 2,857(\pm 0,010)\ln r$ (taille de l'échantillon : 592)

Transition observée : $r = 244$ et $P = 7\,300$ habitants

Figure 182. Loi rang - taille sur la répartition de l'établissement humain à l'échelle du continent océanien

Classe minimale	100 000 habitants
Classe maximale	2 000 000 habitants
Intervalle	10 000 habitants

Figure 183. Paramètres de l'exposant de Pareto

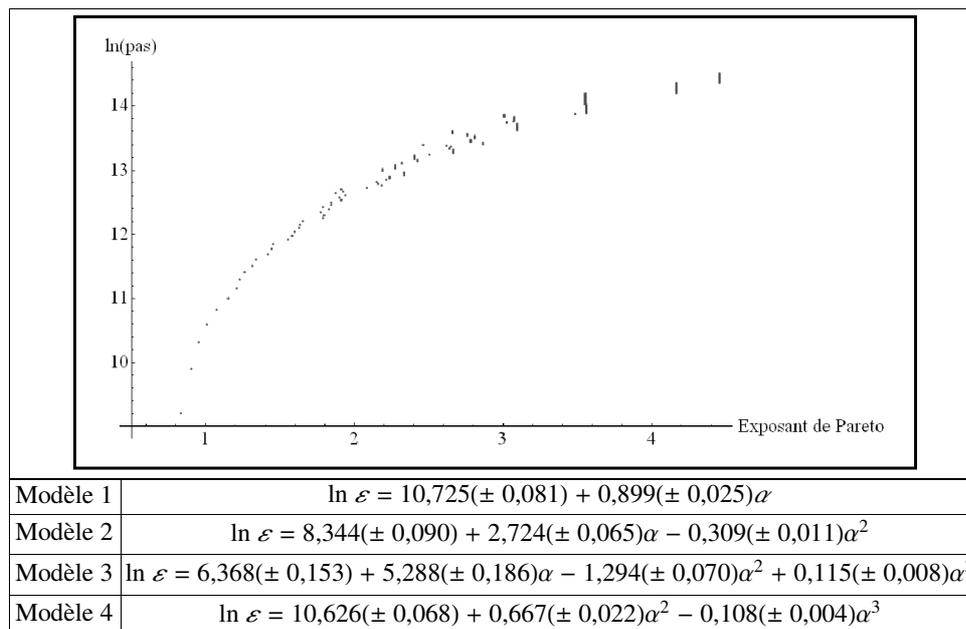


Figure 184. Représentation graphique de la variation de l'exposant de Pareto en fonction de la classe statistique et estimations des lois possibles pour la « dynamique d'échelle » de cet exposant dans le cas océanien

17.2.5. Conclusion

Ni le seuil de population, ni le seuil spatial imposé par le découpage en continent ne modifient les structures multi-échelles observées à l'échelle du monde. Certes, il existe des écarts au niveau des dimensions fractales globales, mais ils ne sont pas suffisamment significatifs. De plus, la structure rang - taille observée à l'échelle des continents montre une robustesse du point de vue de la forme des équations absolument remarquable, même s'il ne s'agit pas de la même forme des équations à l'échelle du monde dont la complexité est peut être due à l'espacement introduit par les océans. Que deviendrait cette structure si l'on recréait artificiellement la Pangée ?

L'analyse par continents a permis de préciser la localisation des foyers de peuplement historiques que l'on n'avait entre aperçus à l'échelle du monde. En effet, l'ajustement des seuils de continuité de population a permis un meilleur positionnement des lieux, avec pour conséquence d'améliorer l'approche des dimensions fractales locales. De plus, cette analyse a permis de confirmer à des échelles plus fines la fractalité des données concernant la population des lieux considérés. Ainsi, que l'on utilise le nombre d'habitants contenu dans une agglomération administrative, ou que l'on utilise le nombre d'habitants contenu dans une agglomération morphologique, au sens de François Moriconi-Ébrard (1994), la nature fractale des données a pour conséquence que le choix de la limite n'influe pas sur la localisation ponctuelle des lieux, puisque, ensuite, une analyse par comptage de boîtes carrés peut permettre une agglomération de population aussi efficace que l'agglomération morphologique. En effet, on étudie la dégradation du nombre d'habitants en fonction d'un maillage prédéterminé. Dans ce cas, la position des lieux détermine la limite de cette information. On peut donc mener une étude assez détaillée sur la structure de la répartition du nombre d'habitants en des lieux donnés à un autre niveau que l'agglomération morphologique. Ce niveau avait été appelé « niveau 5 » dans le chapitre 9. Ce niveau est donc fondamental pour l'étude de l'organisation scalo-spatiale de l'établissement humain.

Avant de conclure ce chapitre, il faut effectuer quelques calculs de dimensions fractales de la répartition de l'établissement humain à l'échelle étatique afin de vérifier la portée de ce « niveau 5 ».

17.3. À l'échelle étatique

À l'instar de l'étude sur les châteaux, on peut estimer des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique, soit 193 territoires. La Figure 185 donne les caractéristiques des mesures effectuées. Il faut noter que quatre Etats n'ont pas de dimensions fractales calculables. Il s'agit du Vatican, de Monaco, de Nauru et de Singapour, où la dimension fractale est nulle soit parce qu'il n'y a qu'un point, soit parce que les points sont si proches qu'il est impossible d'estimer une autre dimension que la dimension topologique. Tout comme avec les châteaux, on constate qu'il n'y a aucun lien entre le nombre de lieux et la dimension fractale territoriale, entre l'échelle de coupure et la dimension fractale territoriale et entre l'étendue et la dimension fractale territoriale.

La Figure 186 dresse la statistique de cette valeur. Une nouvelle dimension fractale caractéristique apparaît autour de 1,2. Cela montre une nouvelle fois que la dimension fractale a varié en fonction de la résolution, puisqu'à l'échelle du monde et à l'échelle continentale, elle valait environ 1,5. Néanmoins, à l'échelle continentale, il existait des écarts par rapport à l'échelle du monde. La Figure 187 confirme ces écarts : chaque continent possède une dimension fractale territoriale propre. Sur un pied d'égalité, on trouve l'Afrique et l'Amérique avec une dimension fractale d'environ 1,1 ; l'Eurasie possède la dimension fractale la plus élevée et l'Océanie la plus faible. Le cinquième niveau est donc loin d'être homogène. Si on prend le cas de l'Afrique, à l'échelle du monde, elle est incluse dans la dimension fractale globale d'environ 1,5 ; à l'échelle continentale, elle possède une dimension fractale globale d'environ 1,5 ; à l'échelle étatique, une dimension fractale moyenne d'environ 1,1. Le cas de l'Océanie est plus spectaculaire : 1,5 à l'échelle du monde ; 1,4 à l'échelle continentale et 0,7 à l'échelle étatique. Dans ce cadre, la dimension fractale permet la quantification de différents niveaux de l'espace géographique, mais il faut toujours garder à l'esprit que ces valeurs sont relatives à l'état d'échelle du système, dans ce cas, la résolution valant 1 km. Autrement dit, si on passait à une résolution valant 1 m, les dimensions fractales calculées changeraient.

Quoi qu'il en soit, l'articulation multi-échelle de l'espace mondial ne peut se comprendre sans la notion de « foyers historiques de population », puisque ces derniers déterminent la position des grandes agglomérations à l'échelle planétaire. Plus il y a de foyers, plus la dimension fractale semble être élevée, comme le confirme le lien formel entre la dimension fractale et le nombre d'habitants en un lieu donné. Si l'on parcourt le globe, on constate, qu'en Eurasie, il y en a au moins quatre (Balkans, Mésopotamie, Inde et Chine) ; en Amérique, au moins trois (Grands Lacs, Amérique centrale, Rio de la Plata) ; en Afrique, au moins trois (Nil, Nigeria, Grands lacs) ; en Océanie, au moins deux (Australie de l'est ; Polynésie). Les pistes de recherche sont donc nombreuses et prometteuses.

État	Nombre de lieux	Échelle de coupure (km)	Étendue (km)	Dimension fractale territoriale	Erreur	Variable <i>t</i> de Student
Afghanistan	117.	90.	812.4	1.445	0.008	172.031
Afrique du Sud	293.	90.	1352.9	1.448	0.009	163.737
Albanie	67.	33.1	170.7	1.385	0.014	99.194
Algérie	285.	54.6	1176.1	1.155	0.005	210.696
Allemagne	300.	90.	788.4	1.509	0.013	117.556
Andorre	7.	4.5	11.	0.874	0.052	16.805
Angola	36.	148.4	1107.7	1.086	0.013	83.587
Antigua–et–Barbuda	15.	2.7	19.3	0.727	0.015	50.074
Arabie Saoudite	51.	148.4	1510.2	1.179	0.013	93.248
Argentine	86.	148.4	1844.6	1.137	0.009	121.3
Arménie	300.	20.1	259.8	1.352	0.007	188.183
Australie	212.	148.4	3463.4	1.147	0.008	148.713
Autriche	287.	33.1	257.2	1.437	0.011	130.695
Azerbaïdjan	192.	33.1	365.	1.4	0.009	163.951
Bahamas	24.	90.	652.	1.075	0.018	60.508
Bahrain	11.	2.7	16.6	0.691	0.016	42.433
Bangladesh	155.	33.1	454.9	1.448	0.007	216.051
Barbade	11.	4.5	19.9	0.939	0.021	44.095
Belgique	300.	20.1	210.6	1.54	0.006	237.079
Belize	9.	33.1	127.7	0.659	0.026	25.269
Bénin	33.	33.1	252.1	0.969	0.017	56.949
Bhoutan	20.	33.1	119.1	1.017	0.028	36.264
Biélorussie	102.	90.	441.4	1.4	0.017	82.075
Birmanie	67.	90.	742.5	1.19	0.009	136.347
Bolivie	125.	148.4	1248.9	1.287	0.013	101.228
Bosnie–Herzégovine	231.	33.1	275.9	1.538	0.01	156.368
Botswana	234.	54.6	906.9	1.327	0.007	179.307
Brésil	300.	148.4	3641.	1.257	0.007	169.652
Brunei	5.	12.2	37.7	0.384	0.042	9.179
Bulgarie	240.	33.1	304.9	1.59	0.009	176.665
Burkina Faso	52.	90.	502.7	1.391	0.013	111.216
Burundi	15.	33.1	157.6	1.182	0.021	56.941
Cambodge	24.	90.	387.6	1.267	0.018	69.603
Cameroun	88.	90.	692.3	1.41	0.01	135.689
Canada	300.	148.4	2392.3	1.11	0.006	180.52
Cap Vert	17.	12.2	239.8	0.565	0.009	64.707
Chili	297.	54.6	854.1	1.11	0.005	224.214
Chine	299.	244.7	3229.2	1.309	0.007	187.426
Chypre	265.	4.5	109.9	1.243	0.004	291.588

Figure 185-1. Estimation des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique

État	Nombre de lieux	Échelle de coupure (km)	Étendue (km)	Dimension fractale territoriale	Erreur	Variable <i>t</i> de Student
Vatican	1.	22026.5	109.9	0.	0.	0.
Colombie	300.	54.6	1525.4	1.182	0.004	306.868
Comores	5.	12.2	97.5	0.264	0.015	17.995
Congo	31.	90.	685.4	1.073	0.014	76.319
Congo Zaïre	124.	244.7	1998.2	1.405	0.01	135.347
Corée du Nord	15.	148.4	473.4	1.044	0.04	26.32
Corée du Sud	135.	33.1	343.8	1.414	0.01	139.858
Costa Rica	199.	33.1	287.1	1.427	0.013	112.567
Côte d'Ivoire	78.	90.	620.2	1.434	0.014	100.959
Croatie	296.	33.1	645.5	1.187	0.006	210.514
Cuba	142.	33.1	357.8	1.258	0.009	147.039
Danemark	300.	33.1	340.4	1.353	0.009	157.116
Djibouti	5.	44.7	94.6	0.028	0.11	0.252
Dominique	22.	7.4	22.2	1.349	0.032	41.843
Égypte	195.	33.1	828.8	1.141	0.009	133.747
Émirats Arabes Unis	9.	20.1	172.4	0.546	0.011	50.169
Équateur	116.	90.	626.4	1.225	0.012	103.667
Érythrée	18.	33.1	295.9	0.745	0.012	62.573
Espagne	300.	90.	1719.9	1.259	0.008	152.01
Estonie	300.	33.1	214.9	1.5	0.007	204.653
États-Unis	300.	244.7	4402.8	1.132	0.006	182.133
Éthiopie	141.	90.	1188.	1.32	0.01	135.487
Fiji	22.	33.1	632.7	0.674	0.008	81.841
Finlande	103.	90.	765.1	1.339	0.01	128.488
France	300.	90.	1002.2	1.457	0.007	222.813
Gabon	35.	90.	601.8	1.193	0.014	82.425
Gambie	20.	12.2	49.9	0.593	0.021	28.18
Georgie	114.	33.1	228.1	1.295	0.011	114.968
Ghana	76.	54.6	411.6	1.191	0.012	98.273
Grèce	300.	54.6	713.4	1.374	0.008	182.501
Grenade	7.	7.4	30.9	0.605	0.024	25.644
Guatemala	300.	20.1	347.2	1.378	0.006	243.406
Guinée	38.	90.	550.	1.316	0.016	83.003
Guinée équatoriale	16.	33.1	566.8	0.785	0.01	76.911
Guinée-Bissau	14.	33.1	134.3	0.959	0.02	47.333
Guyana	42.	54.6	383.8	1.02	0.013	77.179
Haïti	38.	33.1	192.5	1.145	0.016	72.586
Honduras	281.	20.1	365.	1.4	0.006	235.329
Hongrie	300.	33.1	281.5	1.549	0.007	213.067

Figure 185-2. Estimation des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique

État	Nombre de lieux	Échelle de coupure (km)	Étendue (km)	Dimension fractale territoriale	Erreur	Variable <i>t</i> de Student
Îles Marshall	90.	148.4	765.1	1.306	0.014	92.809
Îles Solomon	9.	54.6	533.8	0.404	0.012	34.099
Inde	300.	148.4	2643.9	1.37	0.007	192.107
Indonésie	299.	244.7	1737.1	1.222	0.011	110.395
Iraq	81.	90.	788.4	1.262	0.011	110.669
Iran	267.	90.	1587.6	1.461	0.006	234.436
Irlande	156.	33.1	411.6	1.437	0.009	153.719
Islande	103.	90.	343.8	1.305	0.015	87.649
Israël	227.	12.2	167.3	1.216	0.007	184.444
Italie	300.	90.	1085.7	1.363	0.009	152.379
Jamaïque	26.	33.1	68.7	1.204	0.045	26.599
Japon	300.	90.	1844.6	1.126	0.007	155.699
Jordanie	90.	12.2	350.7	0.932	0.005	193.819
Kazakhstan	161.	244.7	1556.2	1.445	0.012	118.005
Kenya	149.	90.	871.3	1.326	0.01	128.113
Kirgystan	91.	90.	395.4	1.475	0.011	130.137
Kiribati	24.	54.6	837.1	0.534	0.007	75.1
Koweït	72.	4.5	67.4	0.994	0.008	122.143
Laos	23.	90.	626.4	1.054	0.015	71.672
Lesotho	11.	33.1	177.7	0.745	0.014	52.035
Lettonie	77.	54.6	223.6	1.469	0.015	98.975
Liban	19.	33.1	130.3	1.007	0.023	43.345
Liberia	18.	54.6	403.4	0.978	0.018	54.276
Libye	44.	90.	962.9	0.867	0.012	75.203
Liechtenstein	11.	2.	4.5	0.771	0.035	21.777
Lituanie	111.	33.1	257.2	1.55	0.008	185.709
Luxembourg	300.	4.5	75.9	1.498	0.009	158.903
Macédoine	117.	33.1	139.8	1.548	0.019	81.828
Madagascar	72.	90.	727.8	1.304	0.009	139.092
Malaisie	169.	54.6	626.4	1.064	0.007	145.646
Malawi	34.	54.6	304.9	1.078	0.018	60.539
Maldives	201.	20.1	113.3	1.27	0.012	102.636
Mali	38.	148.4	1274.1	1.089	0.018	60.363
Malte	67.	2.7	26.6	1.131	0.011	100.267
Maroc	137.	90.	871.3	1.359	0.012	115.516
Maurice	143.	4.5	91.8	1.121	0.013	86.371
Mauritanie	20.	148.4	837.1	1.063	0.017	62.08
Mexique	300.	148.4	1958.6	1.343	0.009	152.487
Micronésie	6.	7.4	464.1	0.1	0.004	23.078

Figure 185-3. Estimation des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique

État	Nombre de lieux	Échelle de coupure (km)	Étendue (km)	Dimension fractale territoriale	Erreur	Variable <i>t</i> de Student
Moldavie	37.	33.1	281.5	1.262	0.011	114.507
Monaco	4.	1.1	1.1	0.	0.	0.
Mongolie	25.	148.4	735.1	0.952	0.022	44.08
Montenegro	254.	33.1	424.1	1.469	0.011	133.049
Mozambique	45.	148.4	1141.4	1.037	0.011	91.286
Namibie	39.	244.7	1152.9	1.169	0.02	59.018
Nauru	1.	22 026.5	1152.9	0.	0.	0.
Népal	57.	54.6	376.2	1.154	0.013	89.055
Nicaragua	74.	54.6	399.4	1.256	0.011	116.292
Niger	51.	90.	765.1	1.102	0.012	95.048
Nigeria	300.	90.	982.4	1.523	0.009	171.804
Norvège	300.	90.	1436.6	1.158	0.01	119.944
Nouvelle-Zélande	275.	33.1	1248.9	1.231	0.008	152.673
Oman	26.	90.	601.8	1.014	0.022	45.528
Ouganda	90.	90.	544.6	1.326	0.019	70.061
Ouzbekistan	189.	54.6	720.5	1.239	0.008	151.546
Pakistan	294.	54.6	1261.4	1.237	0.006	191.611
Palau	17.	20.1	391.5	0.516	0.008	63.914
Panama	75.	33.1	239.8	1.299	0.012	105.88
Papouasie – Nouvelle-Guinée	39.	148.4	943.9	1.168	0.019	61.602
Paraguay	229.	33.1	837.1	1.18	0.006	200.922
Pays-Bas	295.	20.1	281.5	1.5	0.006	256.443
Pérou	291.	90.	1352.9	1.401	0.007	209.528
Philippines	123.	90.	837.1	1.197	0.011	106.727
Pologne	300.	90.	589.9	1.634	0.012	140.755
Portugal	300.	33.1	1022.5	1.005	0.008	125.559
Qatar	13.	33.1	90.9	1.01	0.057	17.735
Centrafrique	43.	148.4	749.9	1.209	0.02	60.287
République dominicaine	57.	33.1	200.3	1.392	0.015	95.092
Roumanie	300.	54.6	497.7	1.586	0.009	182.688
Royaume-Uni	300.	33.1	804.3	1.274	0.006	215.296
Russie	300.	244.7	3041.2	1.102	0.008	145.396
Rwanda	12.	33.1	120.3	1.101	0.024	45.429
Saint-Kitts-et-Nevis	17.	7.4	30.9	0.912	0.033	27.46
Saint-Marin	9.	2.7	5.6	1.313	0.082	16.101
Saint-Vincent-et-les-Grenadines	10.	2.7	16.6	0.469	0.016	30.25
Sainte-Lucie	12.	4.5	19.9	0.686	0.026	26.118
Salvador	113.	33.1	125.2	1.371	0.014	99.558
Samoa	251.	4.5	67.4	1.181	0.006	185.376

Figure 185-4. Estimation des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique

État	Nombre de lieux	Échelle de coupure (km)	Étendue (km)	Dimension fractale territoriale	Erreur	Variable <i>t</i> de Student
Sao-Tomé-et-Principe	6.	7.4	130.3	0.256	0.01	26.377
Sénégal	62.	90.	459.4	1.309	0.019	68.057
Serbie	254.	33.1	424.1	1.469	0.011	133.049
Seychelles	5.	4.5	7.8	0.124	0.129	0.961
Sierra Leone	33.	54.6	247.2	1.208	0.016	75.677
Singapour	1.	22 026.5	247.2	0.	0.	0.
Slovaquie	167.	33.1	206.4	1.533	0.008	193.12
Slovénie	264.	12.2	130.3	1.476	0.007	200.016
Somalie	63.	148.4	1043.1	1.252	0.014	88.35
Soudan	133.	244.7	1685.8	1.359	0.011	120.336
Sri Lanka	74.	54.6	221.4	1.277	0.021	61.229
Suède	108.	90.	1130.	1.143	0.01	117.238
Suisse	300.	33.1	206.4	1.39	0.01	133.905
Suriname	14.	20.1	102.5	0.59	0.016	36.989
Swaziland	29.	33.1	107.8	1.321	0.023	57.546
Syrie	50.	90.	502.7	1.28	0.019	69.017
Tadjikistan	81.	33.1	407.5	1.046	0.009	114.506
Taïwan	98.	20.1	301.9	1.13	0.008	146.384
Tanzanie	241.	90.	1118.8	1.499	0.01	157.491
Tchad	49.	148.4	888.9	1.2	0.012	98.124
Tchéquie	300.	33.1	249.6	1.517	0.009	177.491
Thaïlande	296.	90.	757.5	1.326	0.009	139.982
Togo	28.	54.6	151.4	1.252	0.034	37.008
Tonga	9.	4.5	162.4	0.177	0.005	32.453
Trinité-et-Torbago	22.	12.2	103.5	0.777	0.011	69.71
Tunisie	211.	33.1	368.7	1.468	0.009	167.651
Turkménistan	58.	148.4	772.8	1.194	0.014	82.709
Turquie	300.	90.	658.5	1.633	0.009	183.83
Tuvalu	8.	90.	407.5	0.74	0.026	28.612
Ukraine	300.	90.	828.8	1.546	0.007	222.167
Uruguay	39.	90.	512.9	1.228	0.021	57.186
Vanuatu	8.	54.6	247.2	0.385	0.02	19.591
Venezuela	105.	90.	665.1	1.329	0.012	114.019
Viêt-nam	68.	90.	692.3	1.197	0.011	109.412
Yemen	39.	90.	459.4	1.121	0.015	74.757
Zambie	73.	148.4	1032.8	1.328	0.016	83.392
Zimbabwe	36.	90.	626.4	1.268	0.012	109.711

Figure 185-5. Estimation des dimensions fractales territoriales à l'échelle étatique

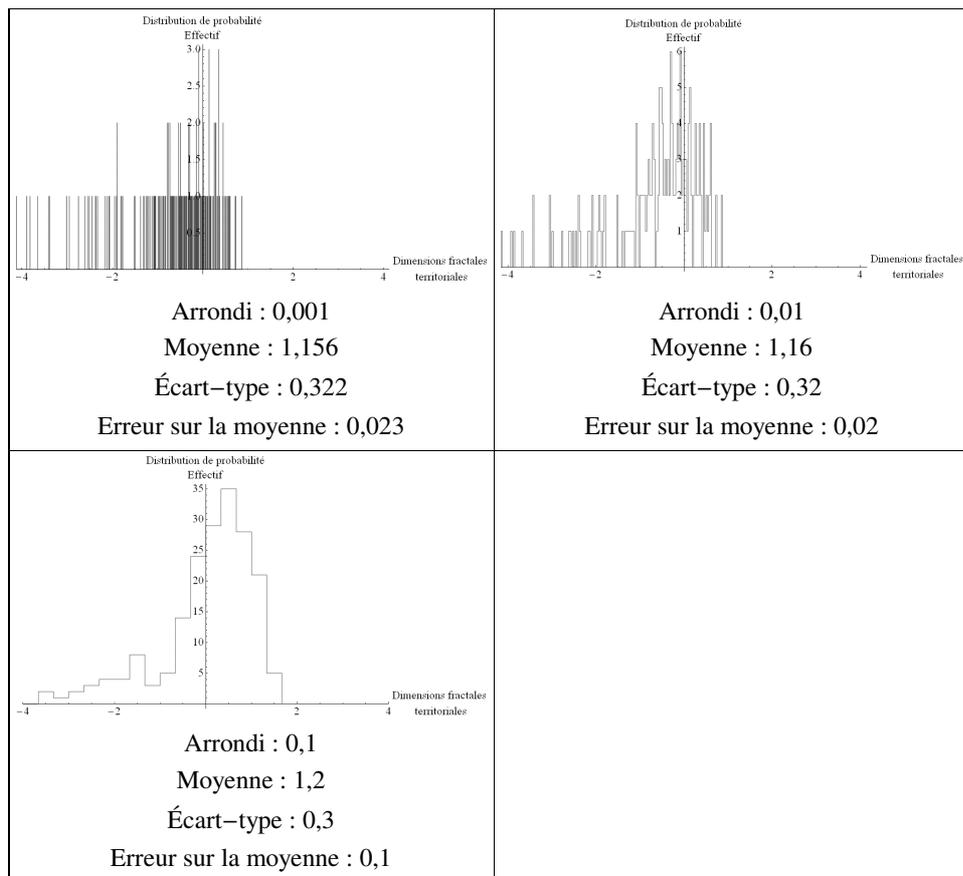


Figure 186. Statistique des dimensions fractales territoriales centrées et réduites

Continent	Nombre d'États	Dimension fractale territoriale moyenne	Écart-type	Erreur sur la moyenne
Afrique	53	1,097	0,349	0,048
Amérique	35	1,110	0,270	0,046
Eurasie	91	1,229	0,326	0,034
Océanie	14	0,683	0,458	0,121

Figure 187. Dimension fractale territoriale moyenne en fonction des continents

Les distributions du nombre d'habitants suivent une loi de nature fractale démontrée par le fait que l'exposant de Pareto varie lui-même en fonction de la résolution avec laquelle on filtre les données statistiques. De plus, les répartitions spatiales de l'établissement humain se structurent également en échelle. Cela revient à dire que le processus de conquête, d'appropriation ou d'humanisation d'un lieu par une population est fractal, et que la morphologie engendrée par la constitution d'un réseau entre ces lieux l'est également. Bien que le processus et la morphologie n'aient pu être étudiés autrement que de manière indépendante, cette double nature fractale n'est sans doute pas un hasard. La fractalité de l'un devrait expliquer celle de l'autre (et *vice versa*). Le système urbain entendu comme le contenant du système de peuplement et de la répartition spatiale, est donc un système multi-échelle par construction spontanée, comme on a pu le vérifier par une approche territoriale à l'échelle étatique. Tout cela explique, en partie, la structure fractale des éléments bâtis et des réseaux de connexion entre les lieux qu'ils soient terrestres, fluviaux ou maritimes à bien plus grande échelle. L'établissement humain se caractérise donc avant tout par son continuum scalaire, ce qui n'a pas assez été perçu jusqu'alors. Ceci ouvre des perspectives fondamentales dans la mesure où une telle régularité relevant de processus sans sujet ne peut être dépendante que de règles dépassant l'humanité elle-même.