

Plan

- Partie 1. Fractalité et planification urbaine
- Partie 2. Caractérisation fractale des réseaux électriques
- Partie 3. Reconfiguration fractale de Grenoble
- Partie 4. La 3^{ème} dimension électrique

Partie 1. Fractalité et planification urbaine

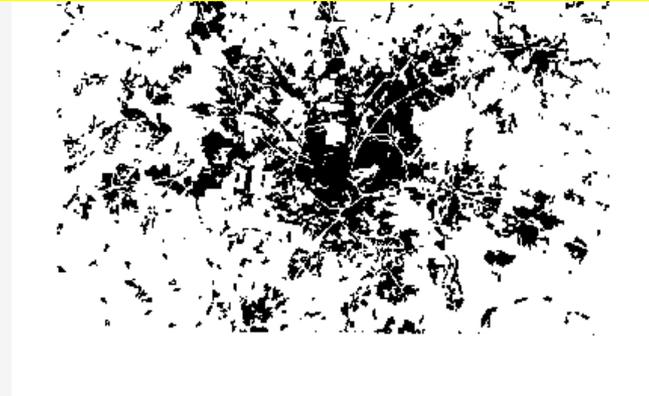
FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Les agglomérations actuelles : des tissus « amorphes » ou simplement des systèmes multi-échelles à forme complexes ?



Fractale aléatoire



Berlin



Simulation fractale en physique



Pittsburgh

Analogies structurelles

→ À vérifier

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID



**La géométrie fractale
un rappel**

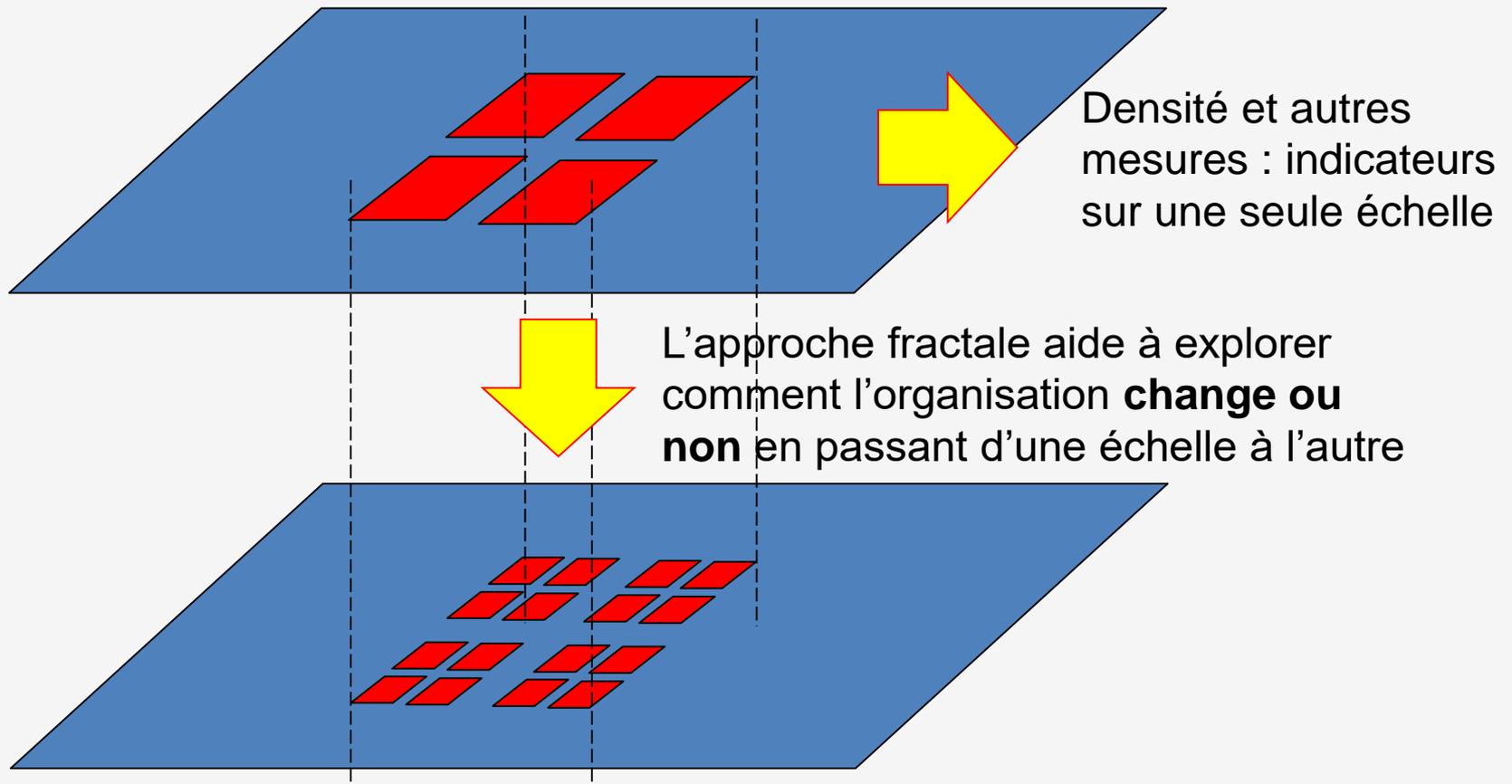
Quel est l'intérêt de l'approche fractale dans ce contexte ?

- ❑ elle s'affranchit de toute échelle particulière et permet une lecture trans-échelles de l'organisation spatiale des tissus urbains et des réseaux de transport
- ❑ elle permet de découvrir des ruptures propres à certaines échelles de l'organisation spatiale
- ❑ elle ne se substitue pas à une approche mono-échelle, mais la complète par une information supplémentaire
- ❑ l'approche fractale est d'abord **une approche de modélisation spatiale** qui permet d'analyser l'organisation spatiale
- ❑ « les méthodes de mesure imitent les modèles »
- ❑ étroite articulation entre modèle et mesure
- ❑ comparaison possible entre modèles spatiaux et structures empiriques
- ❑ réflexions conceptuelles sur l'organisation spatiale des villes dans l'aménagement urbain

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

logique horizontale et verticale

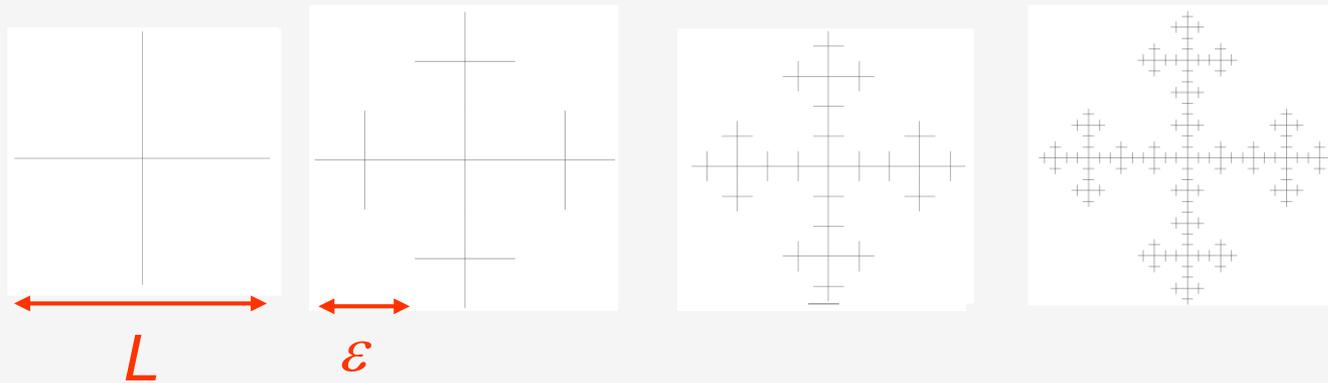


FRactal Grid

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Une répétition à l'infini

Exemple : fractale construite - un tapis et tamis de Sierpinski



Initiateur

Générateur

$$N = 5, \varepsilon = 1/3 L = r L$$

1^{ère} étape

2^e étape

3^e étape

$$N_1 = N$$

$$N_2 = N^2$$

$$N_3 = N^3$$

$$\varepsilon_1 = r L$$

$$\varepsilon_2 = r^2 L$$

$$\varepsilon_3 = r^3 L$$

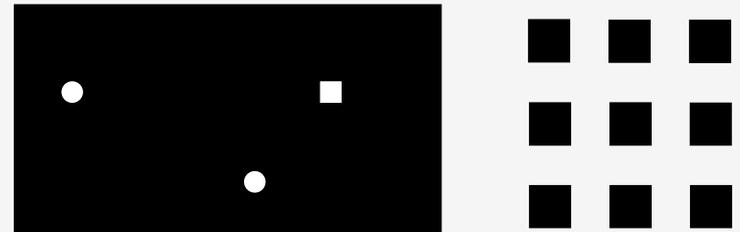
FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Cas particuliers (géométrie euclidienne) :

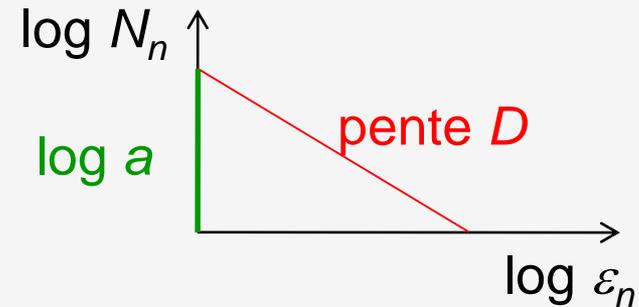
tissu uniforme : $D = 2$

structure linéaire : $D = 1$



Loi de puissance – linéaire en log

$$\log N_n = \log a - D \cdot \log \varepsilon_n$$

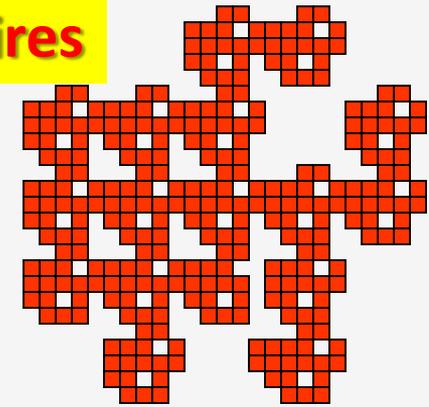
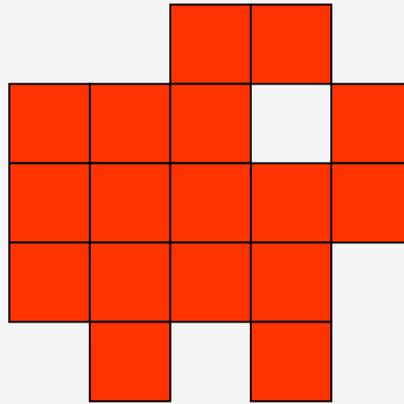


FRactal GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

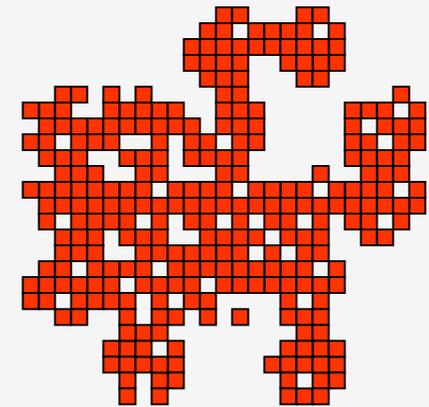
De la théorie vers le monde réel : fractales aléatoires

un générateur moins
symétrique ...



itération stricte

... et une position plus
aléatoire pour les étapes
suivantes



*variation aléatoire
en 2^e étape*

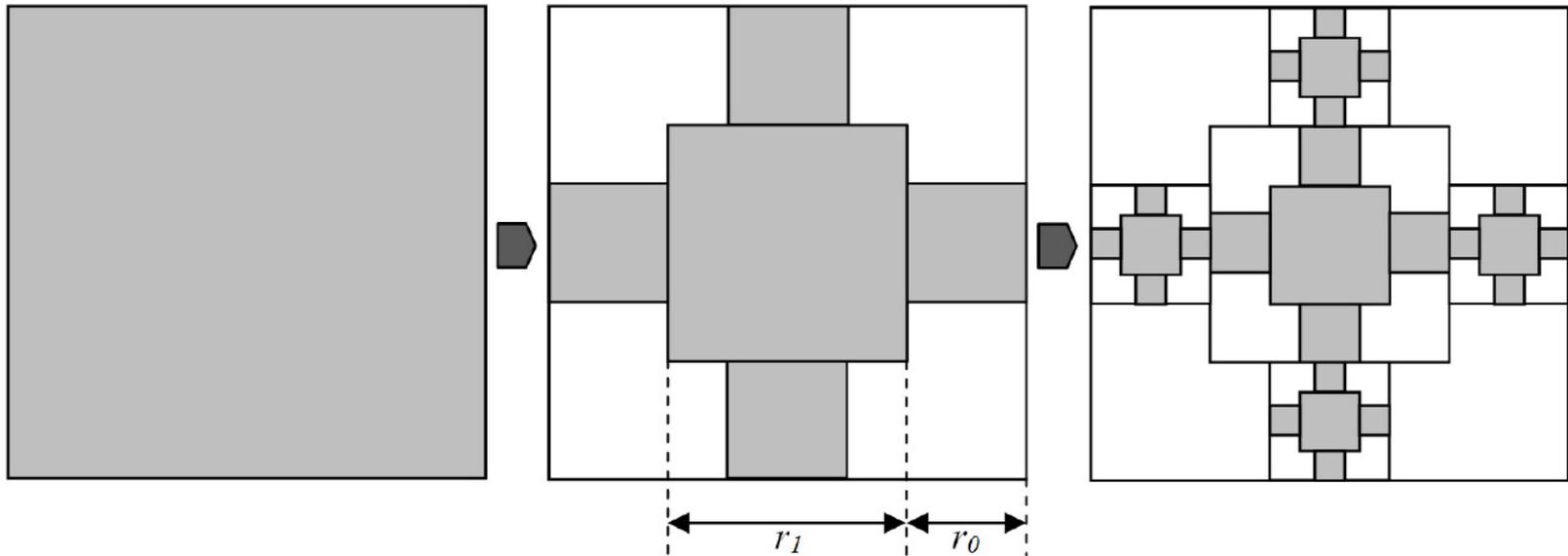
*Les lacunes déjà générées
sont à respecter !!*

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Multifractale

une itération multifractale permet de générer – contrairement à l'itération monofractale – un système hiérarchisé d'éléments



initiateur

générateur

$$r_1 = 0,5; N_1 = 1$$

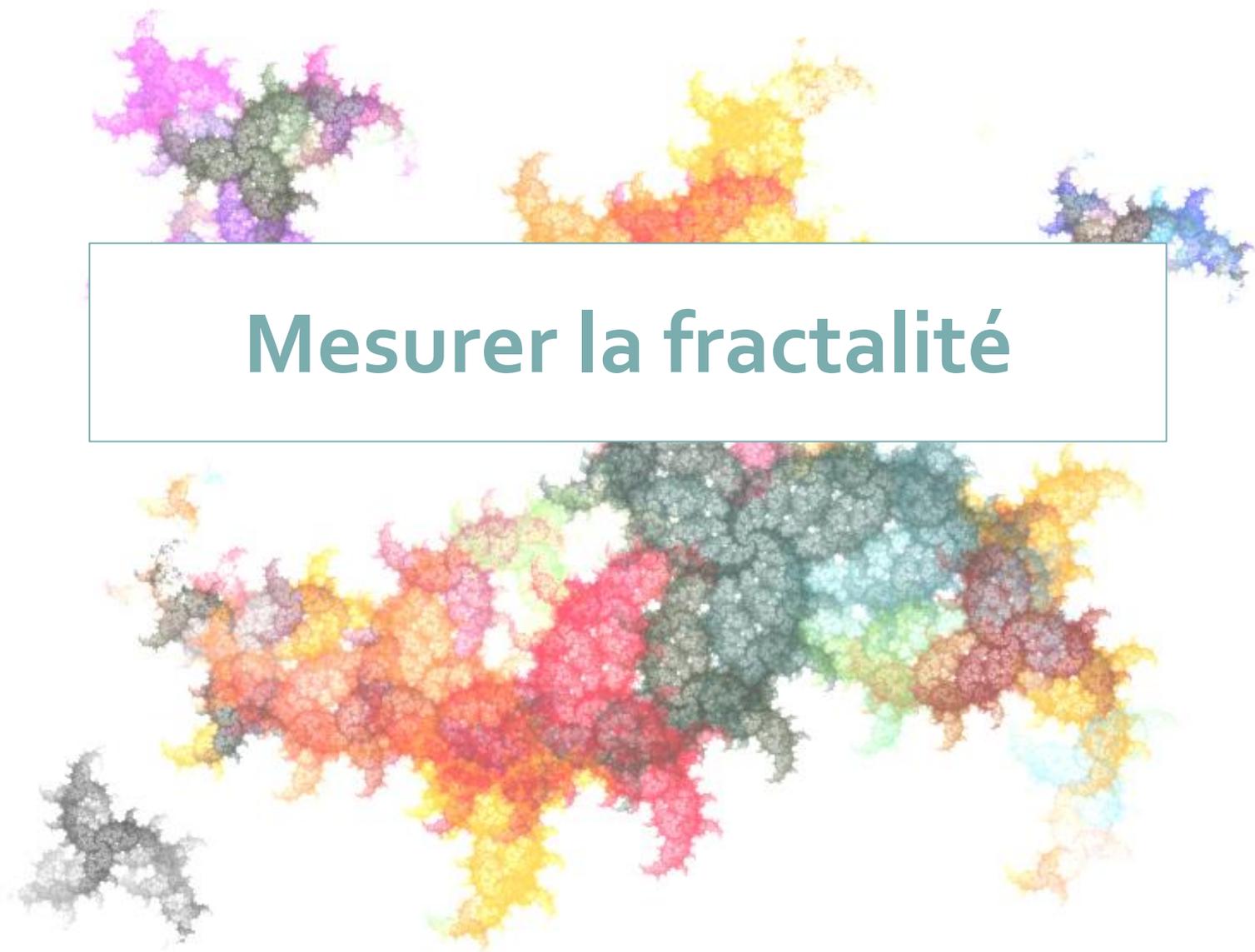
$$r_0 = 0,25; N_0 = 4$$

r_0, r_1 : facteurs de réduction

2^e étape

FRactal GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID



Mesurer la fractalité

Méthodes d'analyse :

- ❑ la structure empirique est interprétée comme « fractale aléatoire »
- ❑ il existe différentes méthodes de mesures
- ❑ les différentes méthodes ne sont pas équivalentes, il renseignent sur des aspects différents.
- ❑ une méthode appropriée pour l'étude des structures surfaciques ne se prête pas nécessairement à l'étude de structures réseautiques
- ❑ on estime les paramètres de la loi fractale

$$N(\varepsilon) = a \varepsilon^{-D}$$

ou

$$\log N(\varepsilon) = \log a - D \log \varepsilon$$

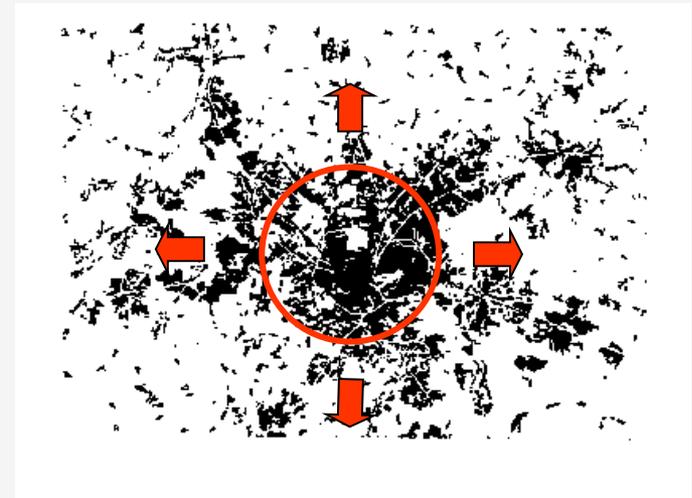
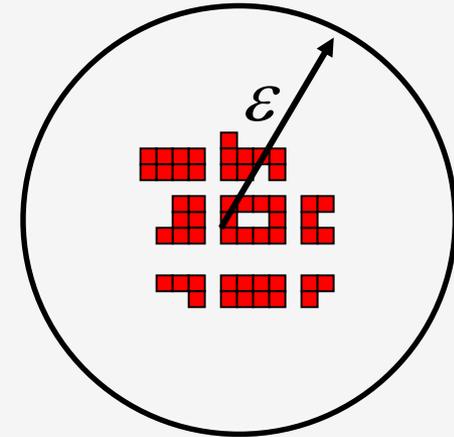
relation linéaire

analyse radiale

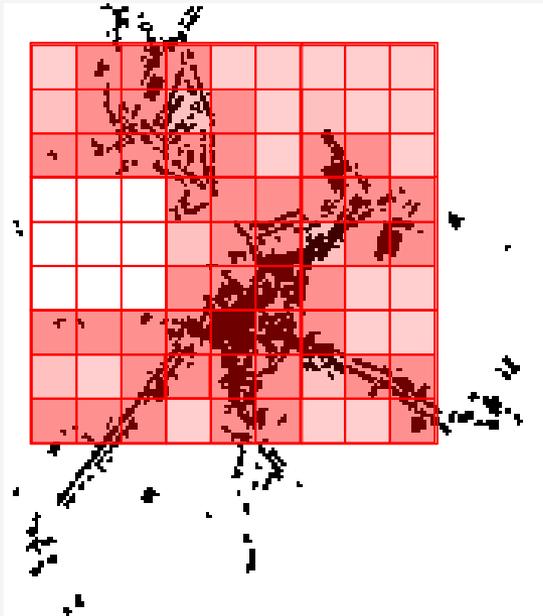
- ❑ choix d'un centre de comptage
- ❑ compter le nombre $N(\varepsilon)$ de sites occupés situés à une distance ε du centre de comptage choisi

Information locale sur la proximité du point de comptage

changement relatif de la densité



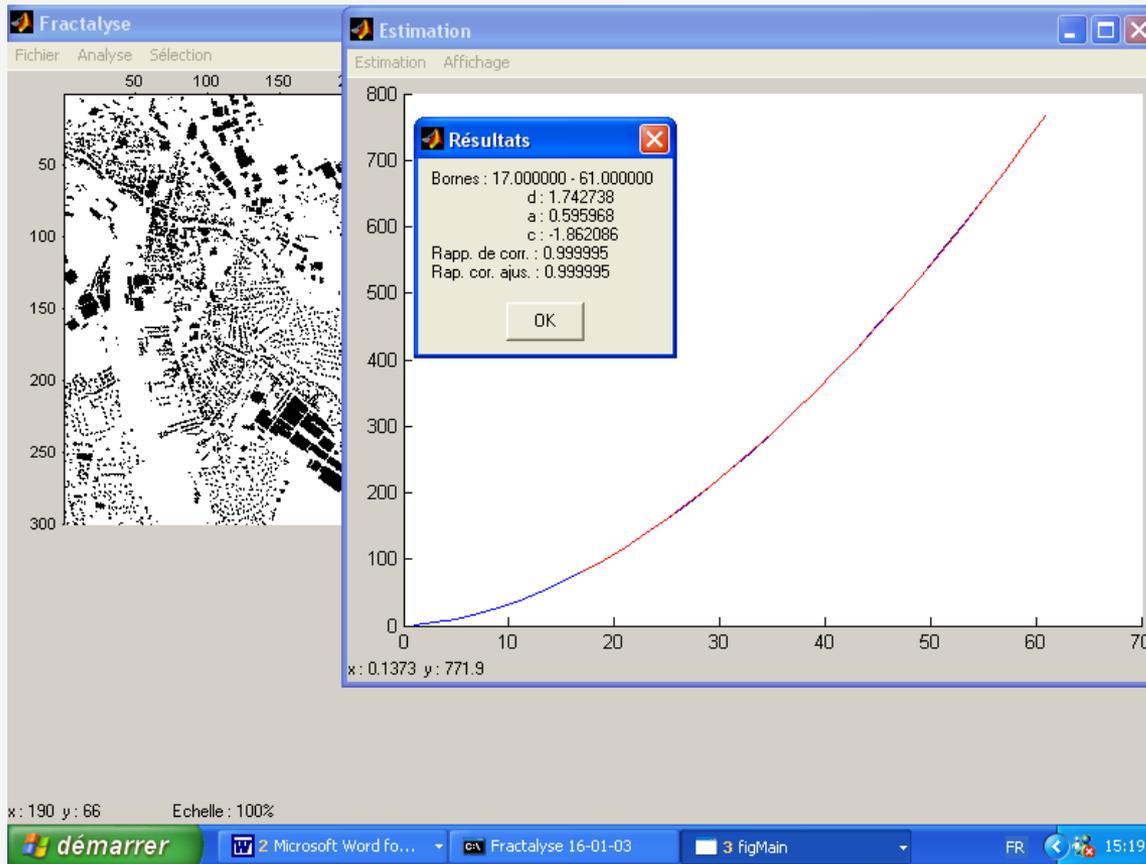
Dimension du quadrillage



- ❑ couverture de la zone d'étude par un carroyage à maille de taille de variable ε
- ❑ comptage du nombre $N(\varepsilon)$ de mailles contenant du bâti

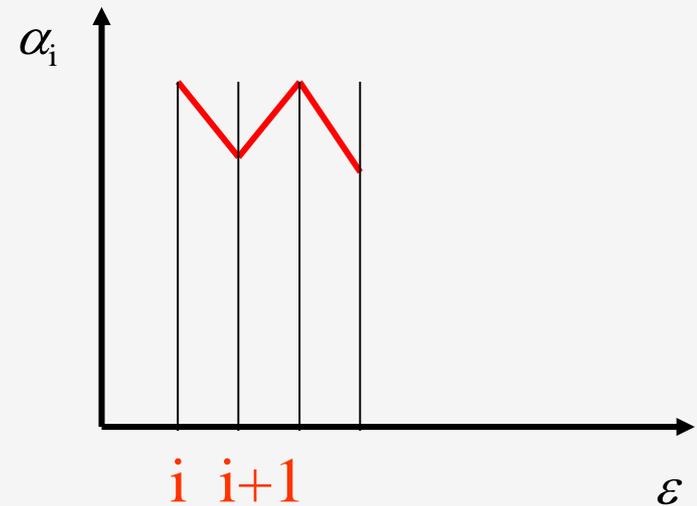
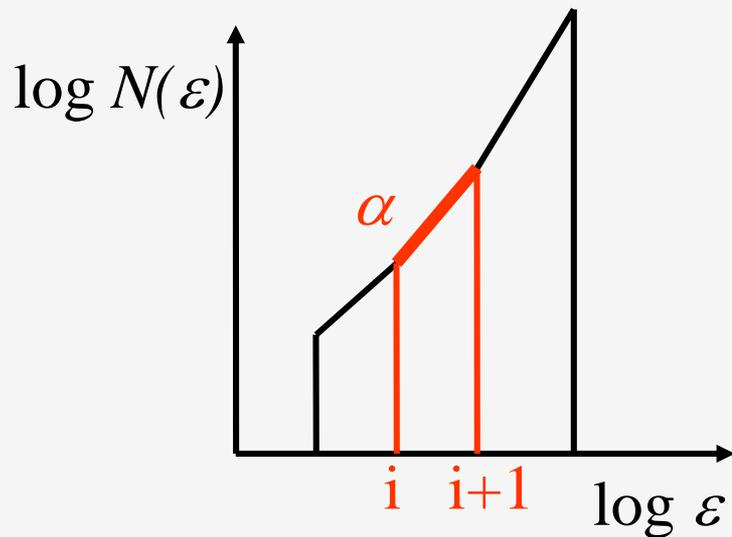
Information globale sur la zone d'étude sélectionnée

Exemple d'une courbe d'analyse



**En général très bonne
qualité d'ajustement
avec la loi fractale
théorique :
corrélation > 0,99**

Courbe du comportement scalant



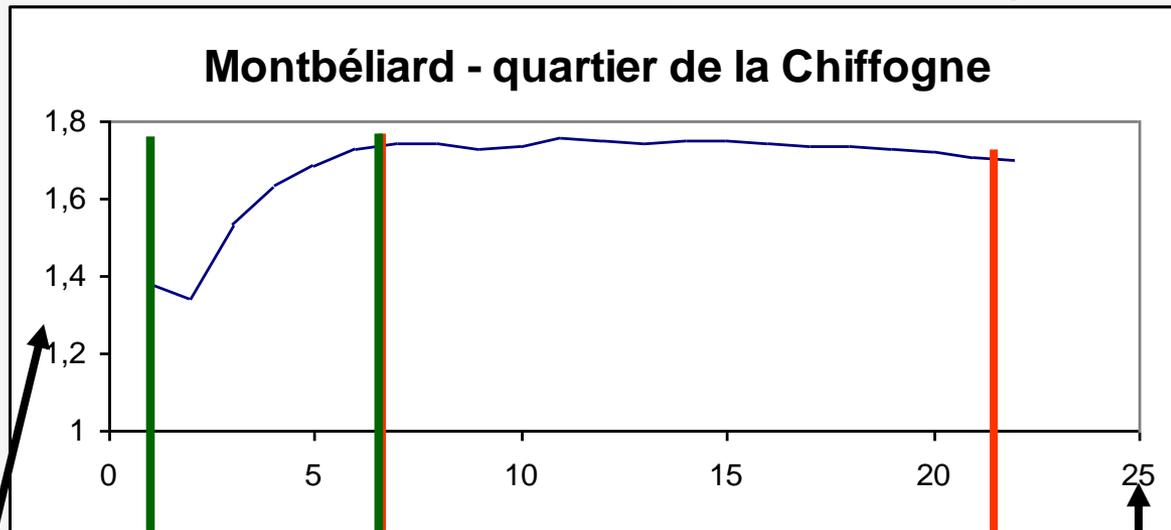
comportement
scalant local

On étudie la séquences des pentes α en fonction de la distance

bon indicateur pour identifier les ruptures dans le comportent fractal

comportement scalant : la dimension fractale constante ou non ?

Analyse de corrélation : analyse radiale moyenne sur l'ensemble d'une zone



fourchette
stable pour
l'estimation

exposant scalant α

paramètre de distance ε

FRACTAL GRID

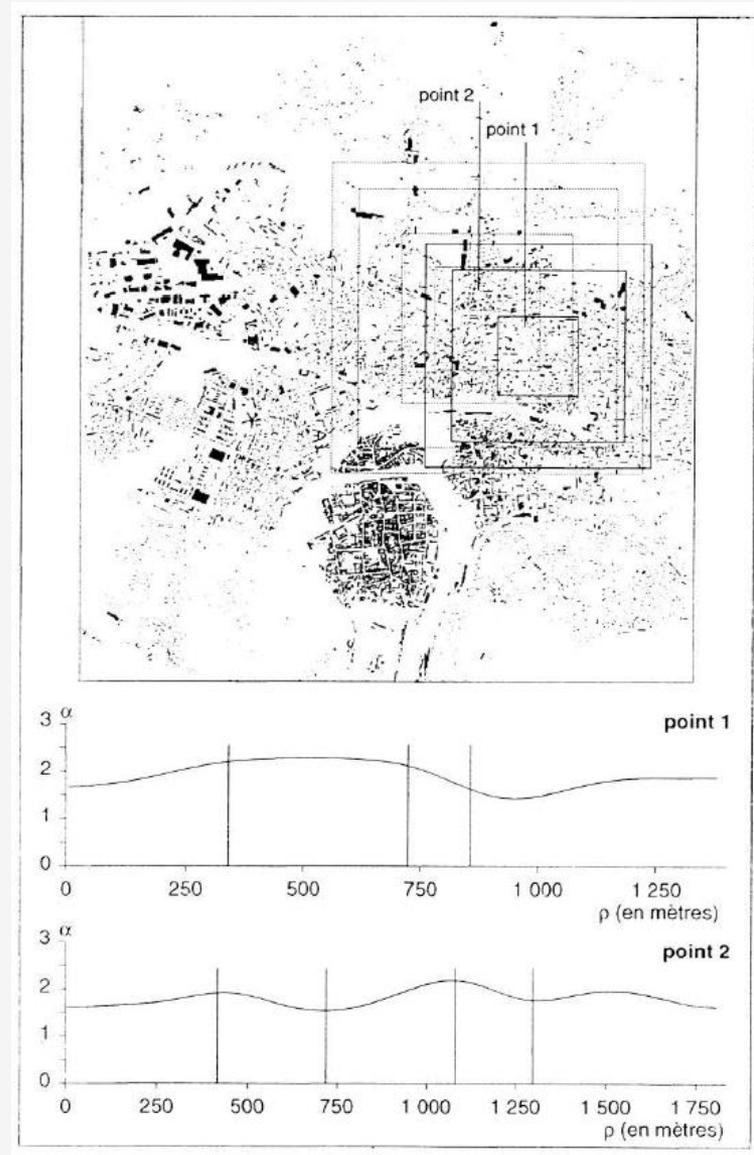
TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Segmentation de zones en fonction du comportement scalant

Analyse radiale

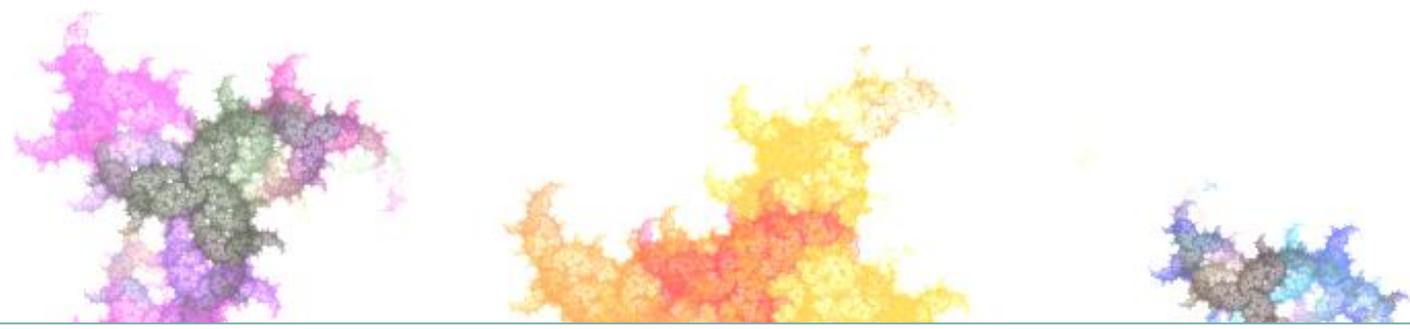
Comportement scalant lissé

Identification des ruptures

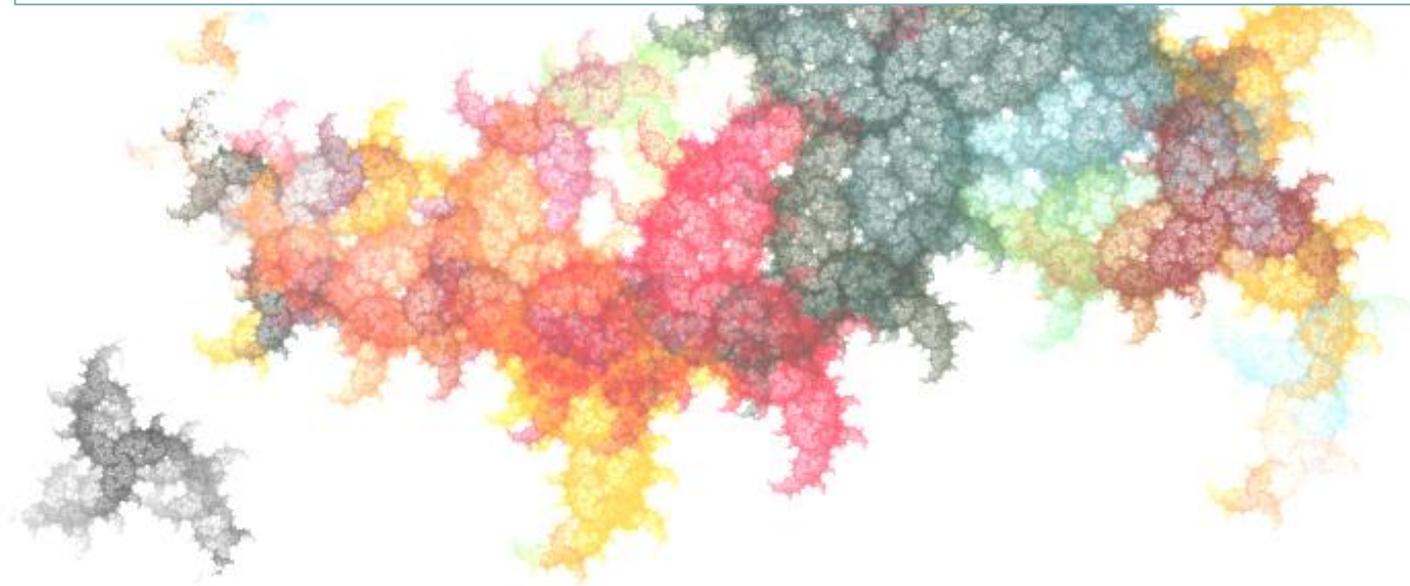


FRactal GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID



La fractalité des tissus urbains



FRACTAL GRID

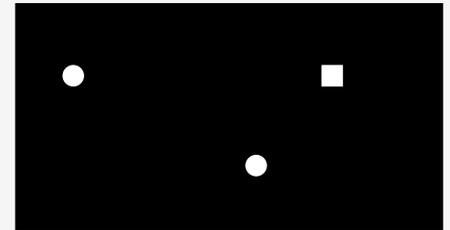
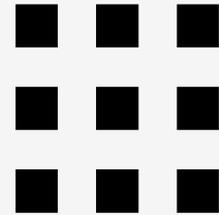
TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

tissus uniformes : $D \rightarrow 2$



Bruxelles
quartier
pavillonnaire
 $D_{cor} = 1,95$

Bruxelles
péricentre dense
 $D_{cor} = 1,97$



FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

tissus contrastés : dimensions plus faibles



Montbéliard
Valentigney

$$D_{cor} = 1,75$$

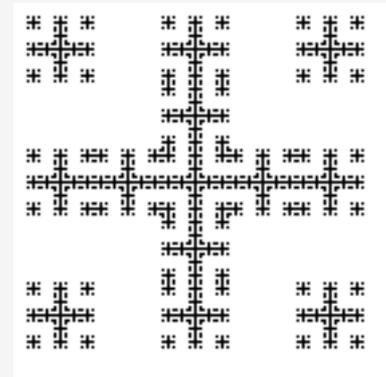


Cergy-Pontoise

$$D_{cor} = 1,73$$

Fractale contrastée

$$D = 1,59$$



Quelques fourchettes typiques de dimensions pour les surfaces bâties *dimension de corrélation*

centres urbains	$1,8 < D < 1,95$
pavillonnaire	$1,75 < D < 1,89$
villes nouvelles	$1,63 < D < 1,77$
péricentre	$1,61 < D < 1,87$
corons miniers	$1,81 < D < 1,92$



Une zones pavillonnaire très uniforme
à l'Ouest de Lyon :

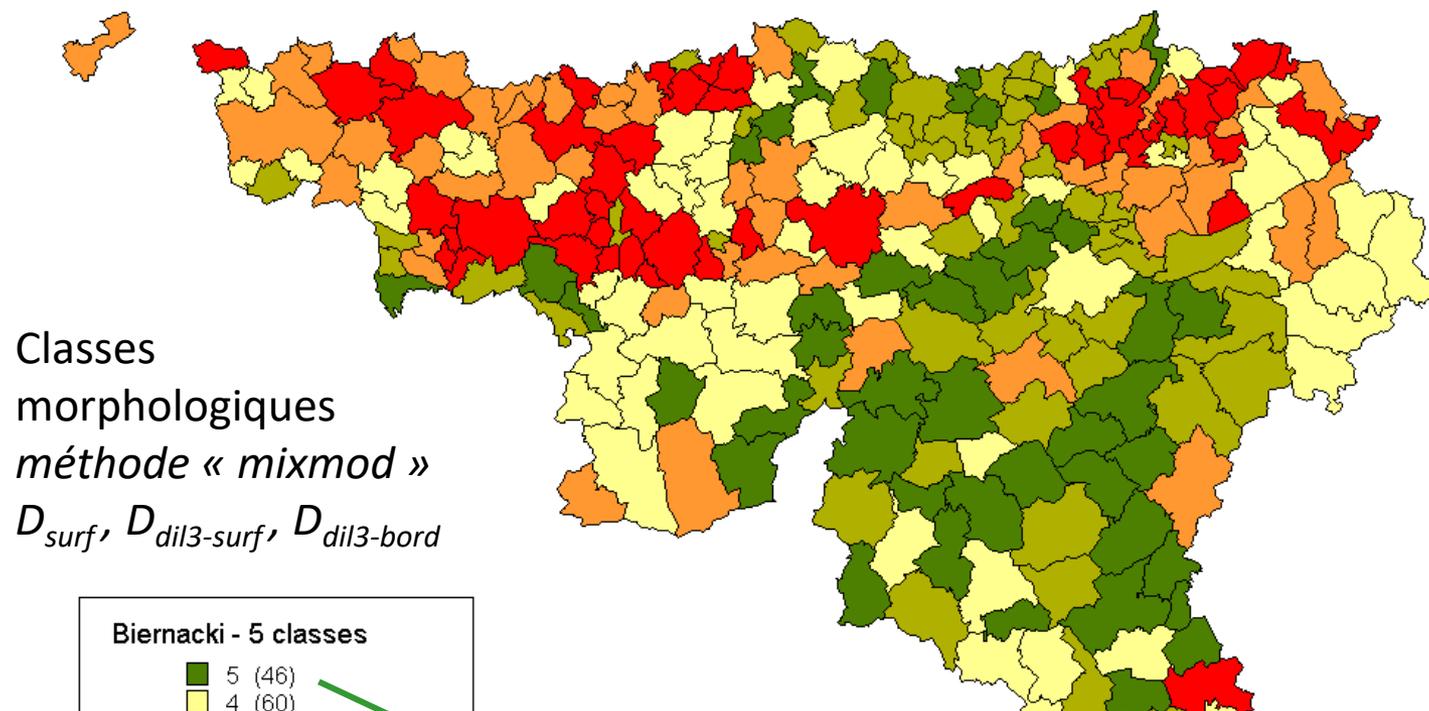
$$D_{surf} = 1,89$$

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Wallonie : Lien entre dimension fractale et contexte historique

source : I. Thomas, P. Frankhauser, C. Biernacki



Biernacki - 5 classes

- 5 (46)
- 4 (60)
- 3 (55)
- 2 (52)
- 1 (49)

3 et 5 : périurbain récent

4 : périurbain plus ancien

2 : bourg + suburbain

1 : urbain + suburbain

(urbanisation Sambre-Meuse)

Quelques observations générales

La fractalité est conditionnée par

- ➔ le contexte d'urbanisation
(histoire, contexte socio-économique, concepts urbanistiques)
- ➔ La politique locale d'aménagement, par exemple « arrondir les bordures »
- ➔ Le contexte législatif
- ➔ la topographie est moins importante, elle se manifeste à l'échelle de l'agglomération

☞ la fractalité des tissus urbains est apparemment le résultat d'interactions entre planification et processus auto-organisés

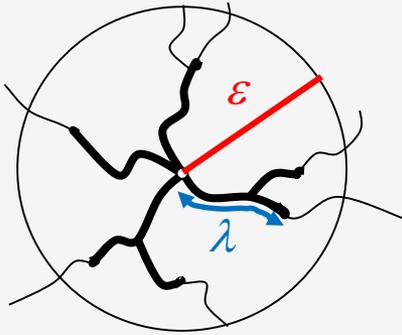
FRactal GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

A visualization of a fractal grid, showing a complex, self-similar network structure. The grid is composed of numerous small, interconnected nodes and edges, forming a dense, branching pattern. The nodes are colored in a variety of colors, including purple, green, yellow, orange, red, pink, blue, and grey, creating a vibrant, multi-colored fractal structure. The overall shape is irregular and fractal-like, with many small protrusions and indentations. The text "fractalité des réseaux" is overlaid on the center of the image in a white box with a green border.

fractalité des réseaux

Analyse d'accessibilité (réseau)



$$N(\lambda) \propto \lambda^{D_{acc}}$$

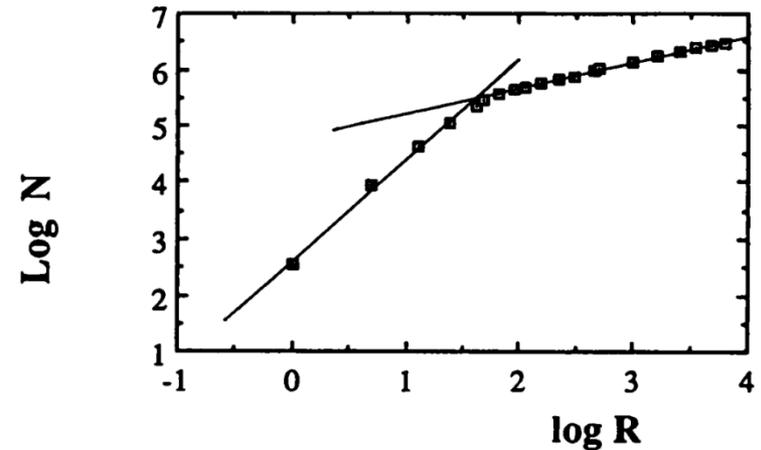
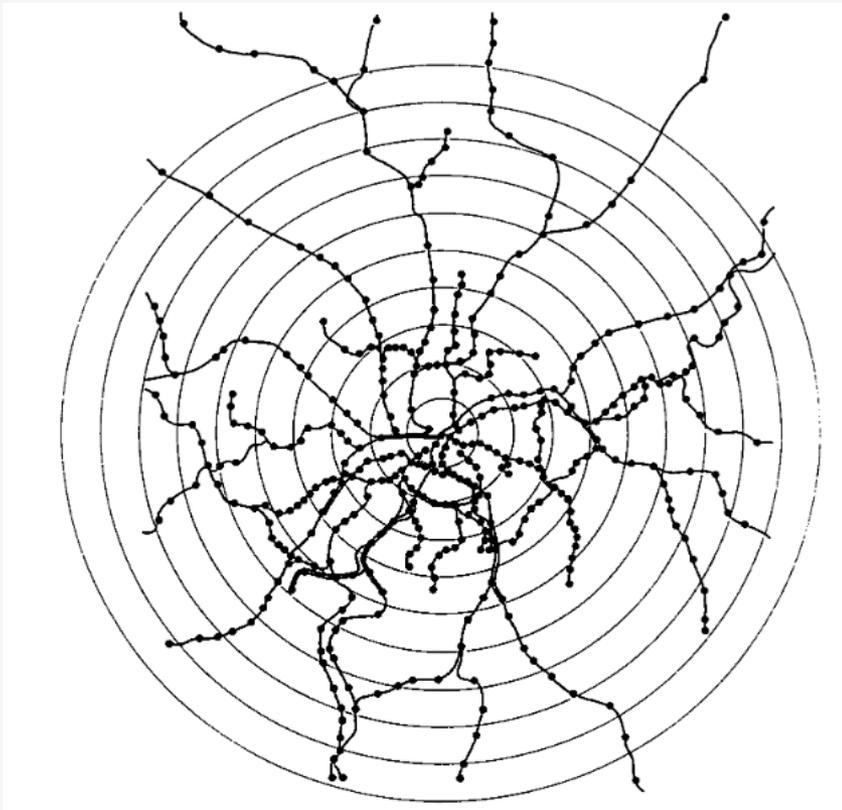
L'analyse d'accessibilité permet de compter le nombre de sites accessibles à distance sur réseau λ d'un lieu choisi (service, source d'énergie...)

Comparaison avec analyse radiale = mettre en évidence la tortuosité du réseau

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Analyse radiale du réseau ferré de Paris

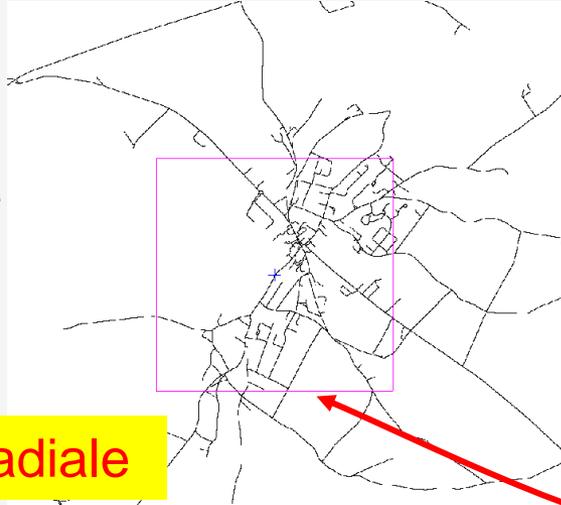


source : Benguigui et Daoud
Geographical Analysis, 1991

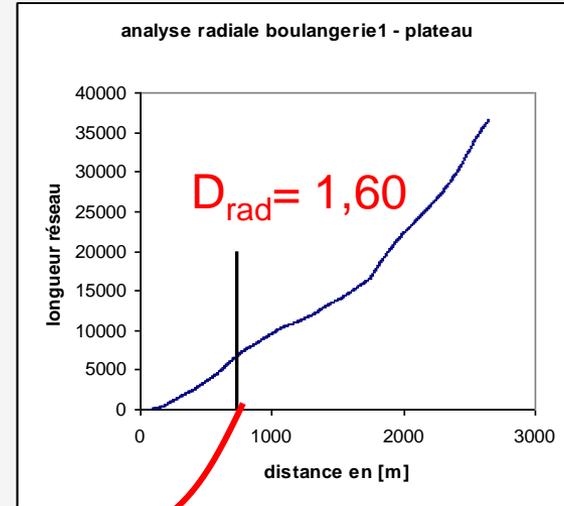
FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

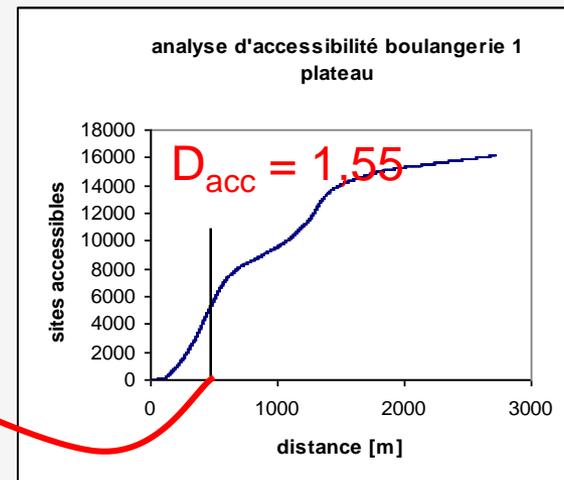
commerce
Saône



Analyse radiale



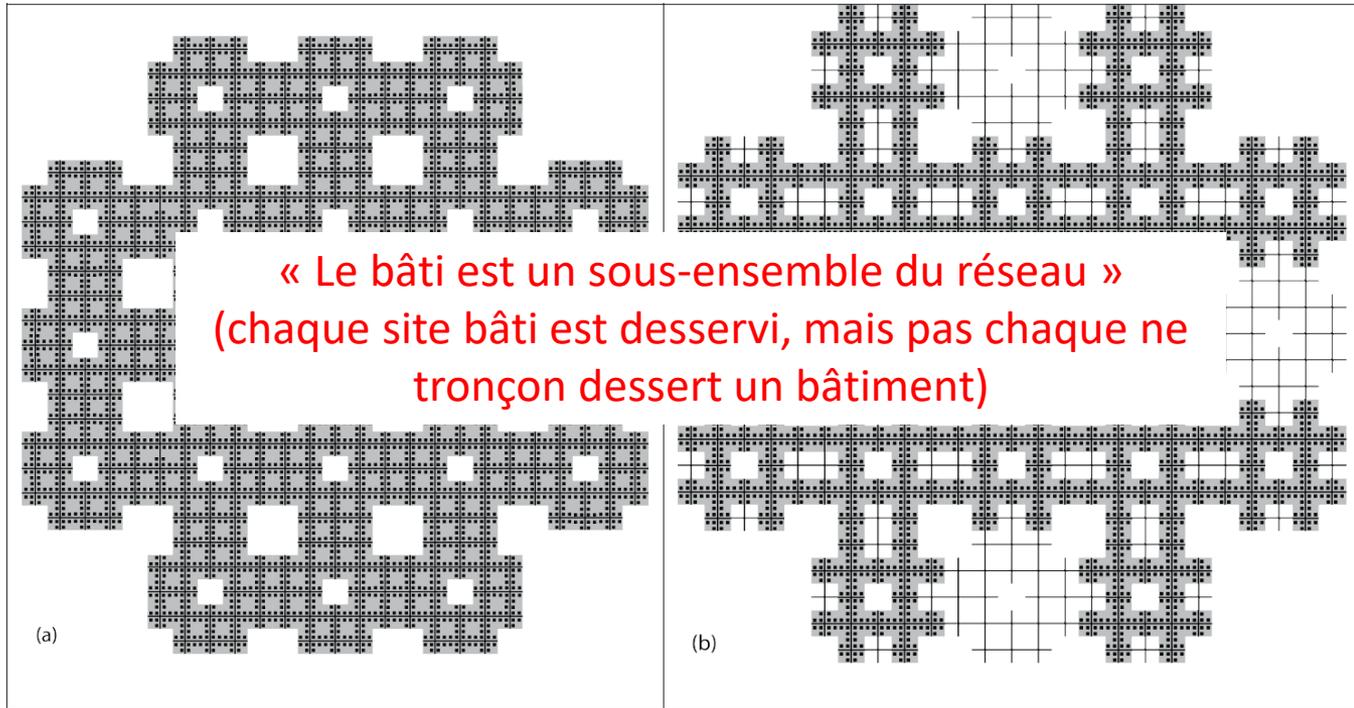
Analyse
d'accessibilité



FRactal Grid

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

Bâti et réseau



$$N_{Surf}(i) = a_{Surf} i^{D_{Surf}}$$
$$N_{Netw}(i) = a_{Netw} i^{D_{Netw}}$$

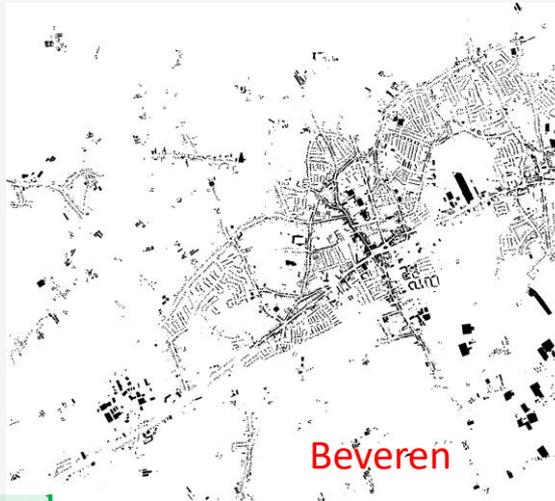
$$N_{Surf}(i) = \frac{a_{Surf}}{a_{Netw}} \left(N_{Netw}(i) \right)^{\frac{D_{Surf}}{D_{Netw}}}$$
$$\equiv a' (N_{Netw}(i))^{\beta}$$

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

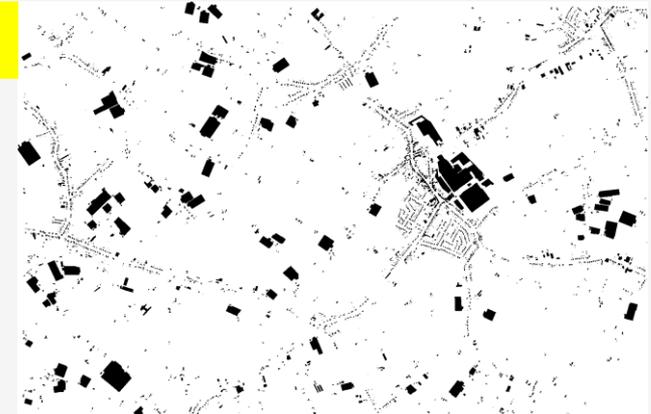
Deux exemples de quartiers dont la densité du bâti est pareil

A



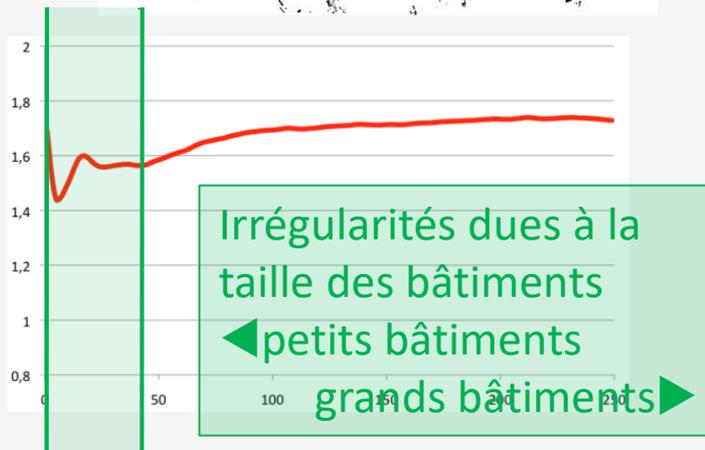
Beveren

B

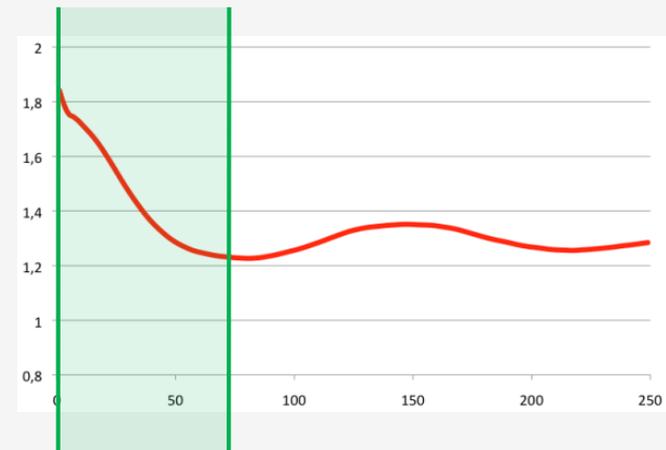


Koningshooikt

La surface bâtie ...



$$D_{Surf} = 1.722, R^2 = 0,999987$$

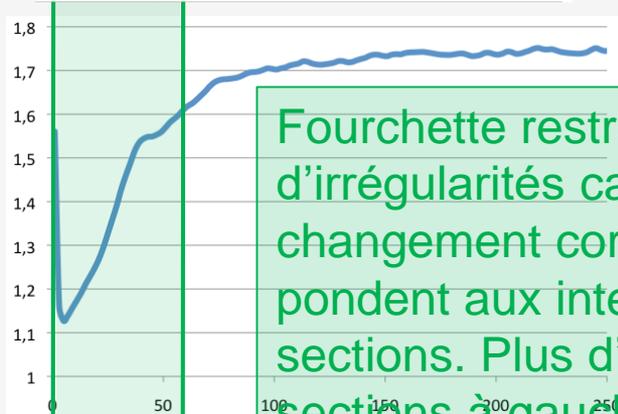


$$D_{Surf} = 1.287, R^2 = 0,999939$$

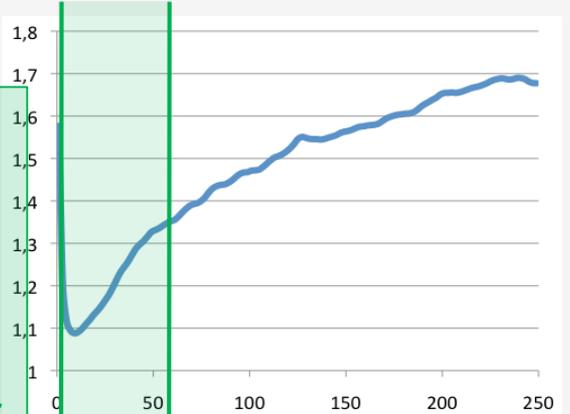
FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

... et le réseau routier



Fourchette restreinte d'irrégularités car les changements correspondent aux intersections. Plus d'intersections à gauche pour les petites distances



$$D_{Netw} = 1.750, R^2 = 0.999997$$

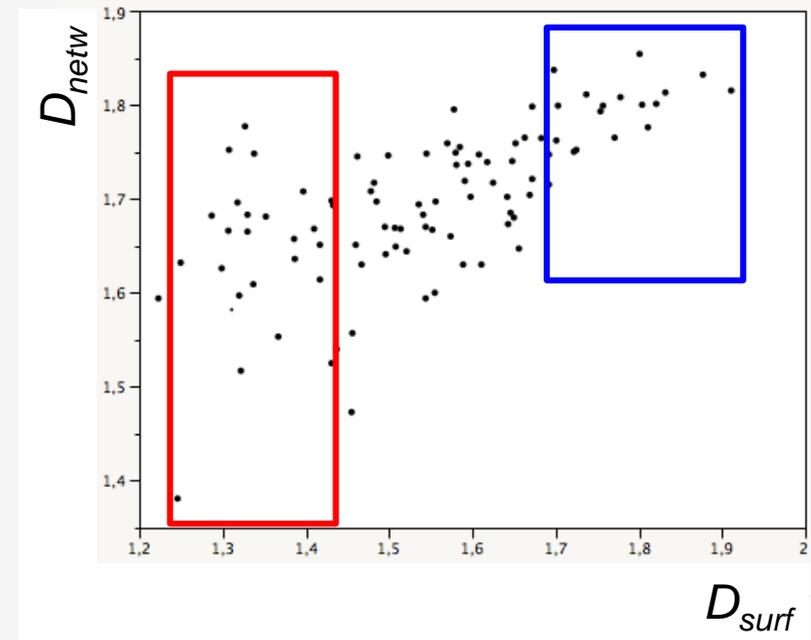
$$D_{Netw} = 1.682, R^2 = 0.999864$$

Comparaison tissus bâtis et réseaux

Corrélation entre surface bâties et réseaux

dimensions basses \Rightarrow périurbain:
Grande diversité des tissus urbains,
les réseaux peuvent être développés
et le bâti peut être faible (distances
irrégulières si moins planifié)

Zones fortement urbanisées : plus
forte cohérence entre réseaux et bâti



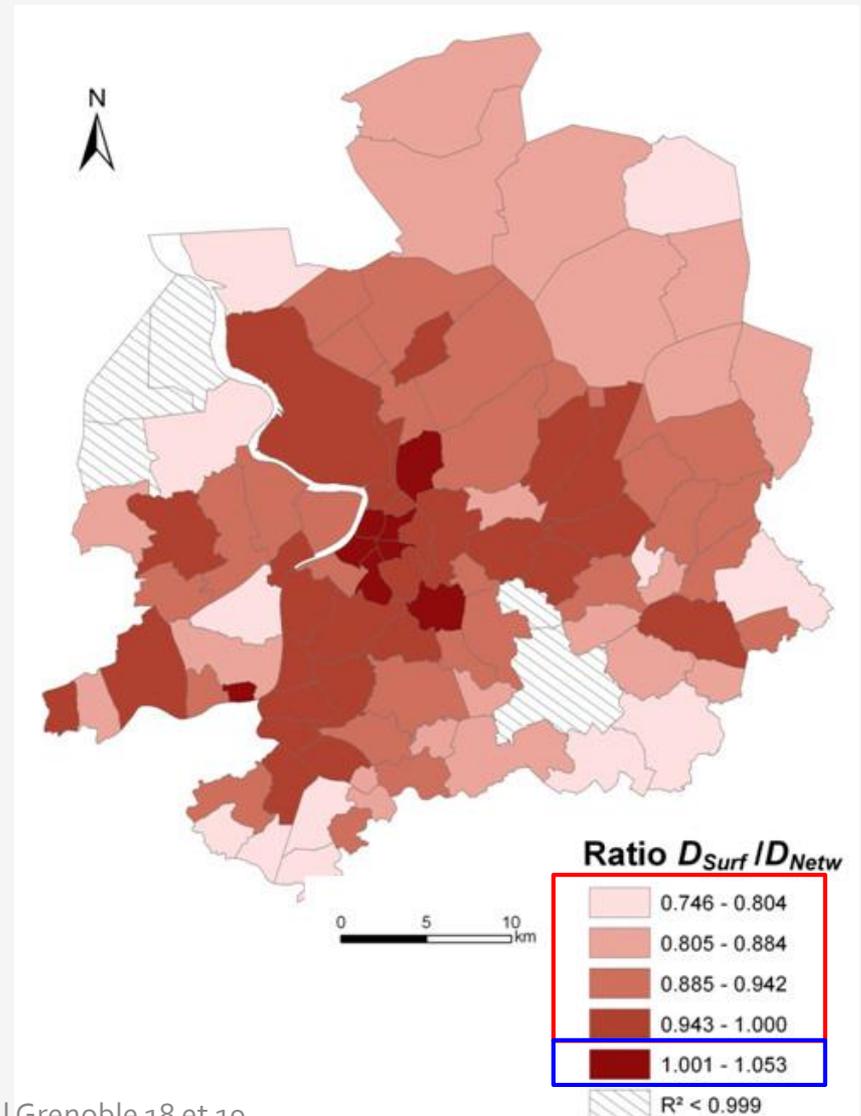
Cartographie de β

$$\beta \equiv \frac{D_{Surf}}{D_{Netw}}$$

$\beta < 1$: réseau plus uniforme que la surface bâtie

$\beta = 1$: réseau et surface bâtie suivent la même logique de remplissage de l'espace

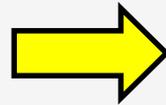
$\beta > 1$: réseau moins uniforme que surface bâtie



L'analyse de concordance

Relation précédente :

$$N_{surf} = a' N_{netw}^{\beta}$$



$$\log N_{surf} = \log a' + \beta \log N_{netw}$$

Pour des fractales théoriques il s'agit d'une relation linéaire entre $\log N_{surf}$ et $\log N_{netw}$, d'où la variation de $\log N_{surf}$ par rapport à $\log N_{netw}$:

$$\frac{d \log N_{surf}}{d \log N_{netw}} = \beta = \text{const}$$

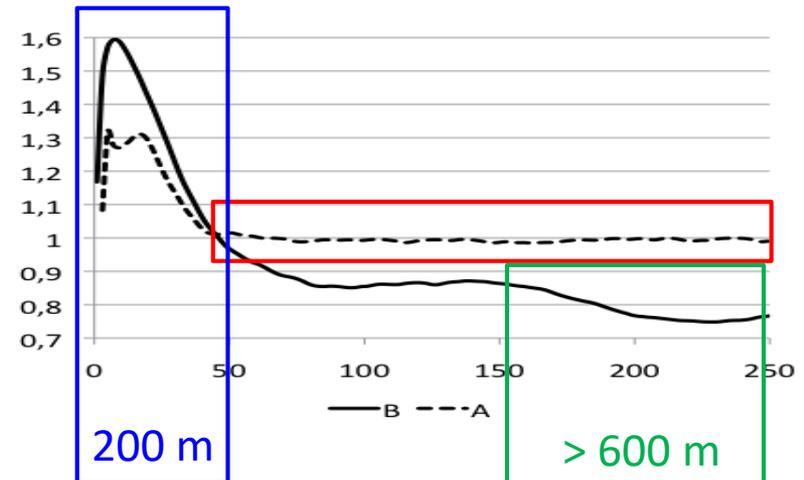
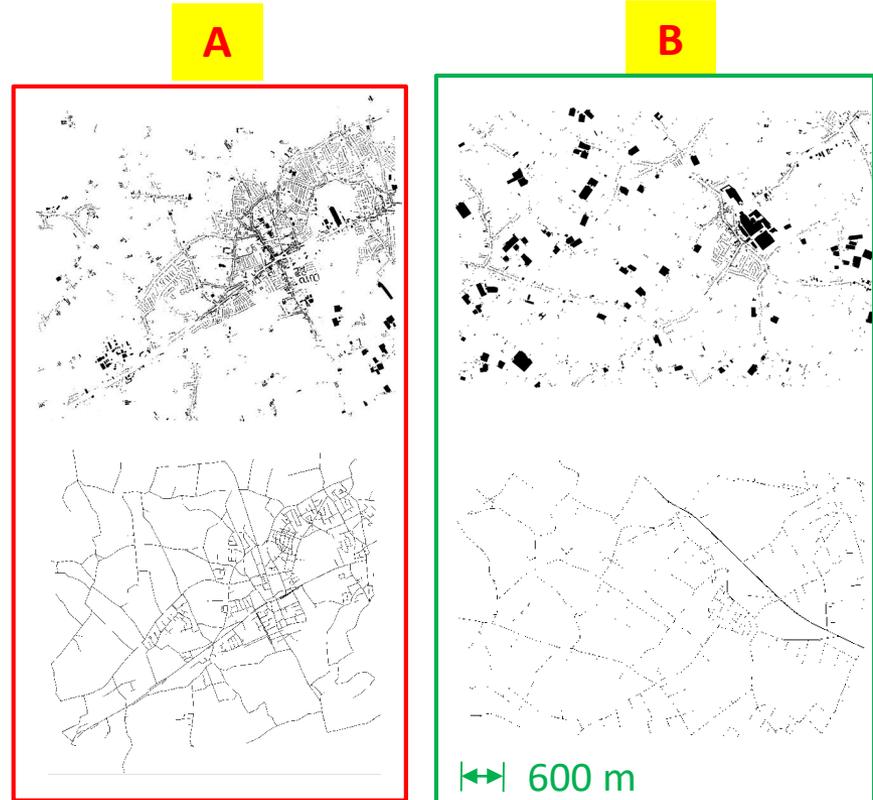
Dans les structures réels le comportement scalant change à travers les échelles d'où $\beta = \beta(N_{netw})$ et $a = a(N_{netw})$:

$$\log N_{Surf}(N_{Netw}) = \beta(N_{Netw}) \log N_{Netw} + \log a(N_{Netw})$$

Pour les deux exemples considérés :

concordance importante entre surface bâtie et réseau

Réseau assez « hypertrophié »
faible corrélation entre surface bâtie et réseau



FRACTAL GRID

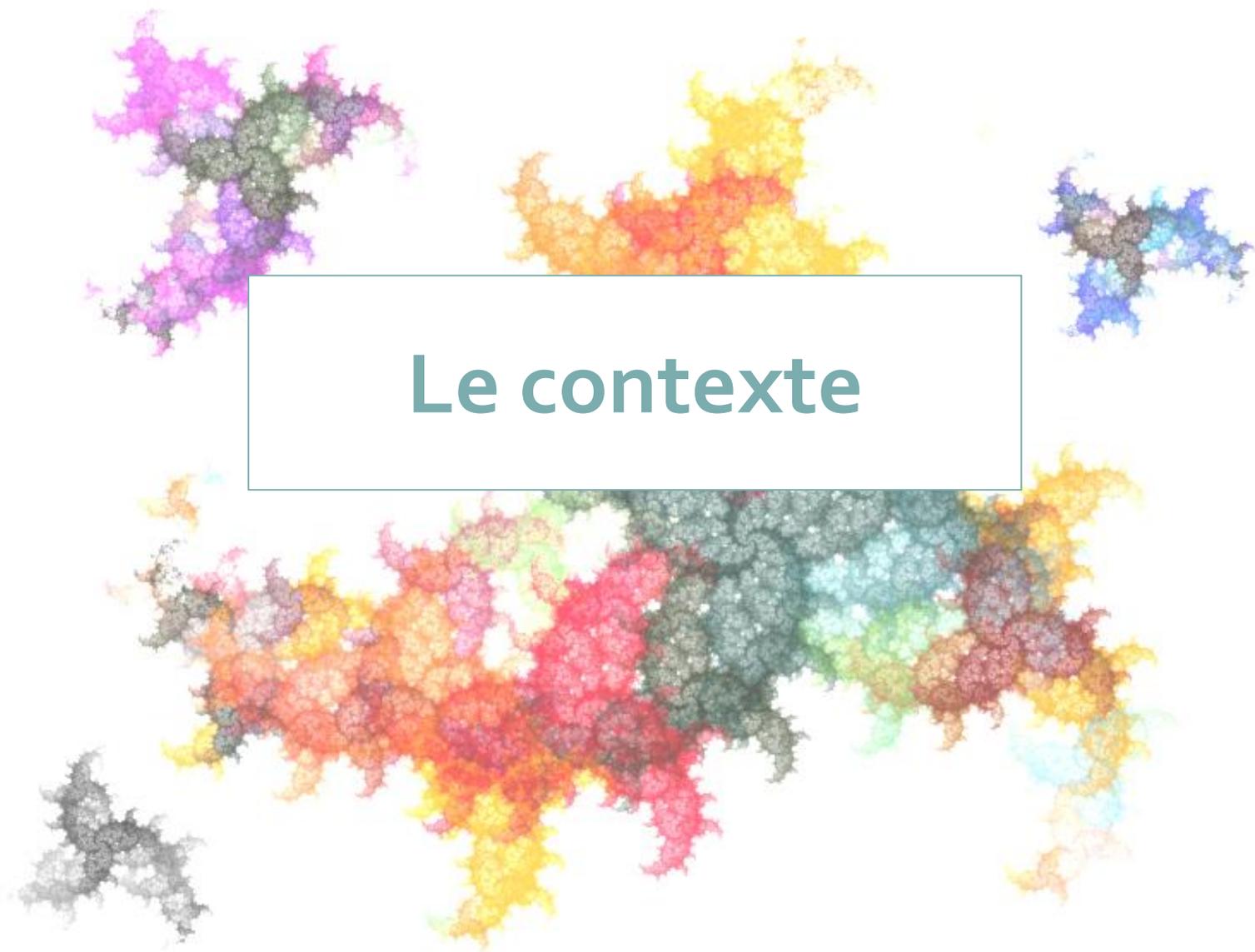
TOWARDS THE FUTURE SMART GRID



**Un concept d'aménagement
fractal pour un
développement urbain durable**

FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

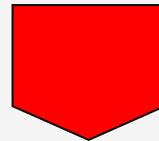


Le contexte

- ❑ **L'étalement urbain est un facteur s'opposant à la durabilité des villes :**
 - ❖ **consommation de terres agricoles et d'espaces naturels**
 - ❖ **augmentation de la taille de la ville, et donc des kilomètres parcourus en voiture particulière**
 - ❖ **habitat dispersé individuel consommateur d'énergie**

- ❑ **Cependant, la politique de concentration des centres est elle-aussi controversée (augmentation des inégalités, congestion, îlots de chaleur)**

- ❑ **Les Français plébiscitent la maison individuelle, la propriété, et l'accès à la nature ; les politiques de grands ensembles n'ont globalement pas été des réussites**



développer des concepts alternatifs

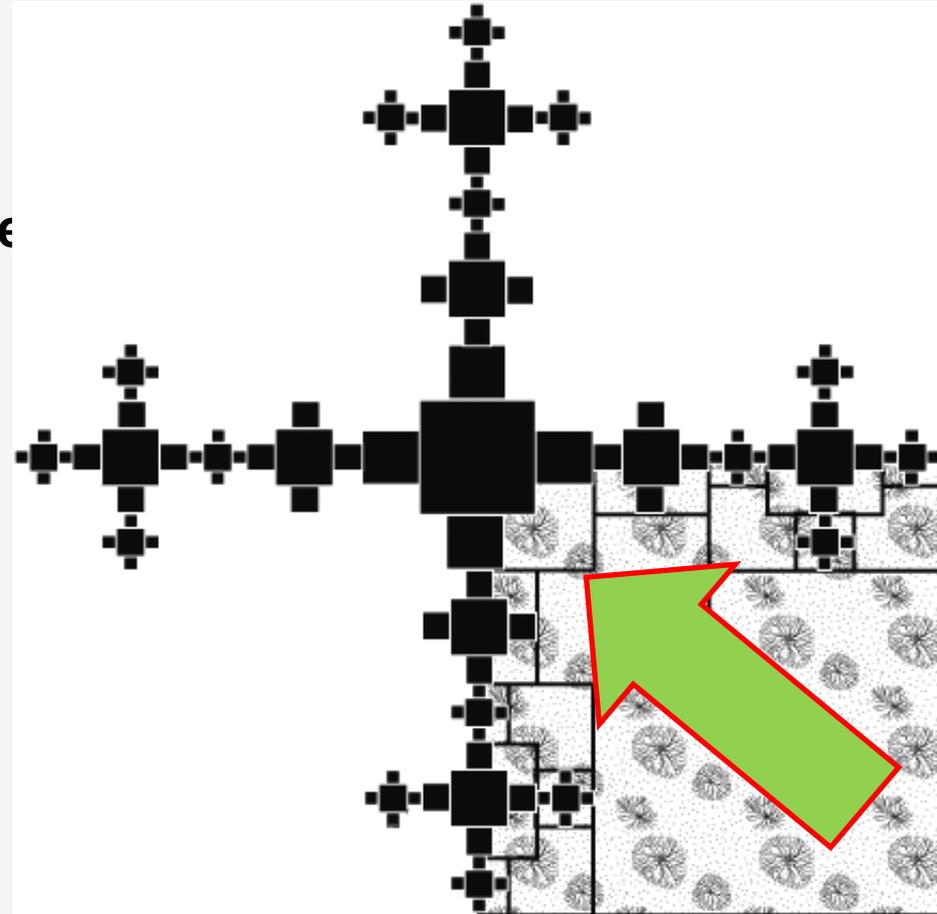
FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

- ❑ développement d'une ville *ouverte* (par opposition à la sacralisation de la limite de la ville dans le paradigme de la ville dense) structurée autour d'un réseau de transport en commun
- ❑ Grâce à l'application des principes de développement fractal, cette ville n'est pas monolithique, présente des niveaux de densité variée, mais également des propriétés de compacité
- ❑ L'approche multi-fractale combinée au TOD permet de faire émerger des pôles secondaires, pour un développement polycentrique du territoire
- **Cette ville présente l'avantage de concilier les attentes des habitants, une certaine rationalité économique, et la diminution de la circulation des voitures particulières**
- **« fractal oriented Development »**

Par leurs caractéristiques multi-échelles la géométrie fractale se prête à concevoir des scénarii qui répondent à ces critères

- ▶ logique radioconcentrique
(nœuds = localisation services)
- ▶ système hiérarchique des services
Aires de chalandise
selon fréquence de recours
- ▶ maîtriser l'accessibilité
- ▶ éviter le morcellement des
espaces non-bâti
- ▶ articuler paysage ouvert et bâti
 - Pénétrantes vertes
 - Coulées de ventilation



Niveaux de service

Niveau 1 (recours quotidien ou pluri-hebdomadaire) :

boulangerie, tabac/journaux, écoles, boucherie/charcuterie/traiteur, commerce alimentaire

Niveau 2 (recours hebdomadaire OU fréquentation contrainte récurrente) :

réparation automobile, café, hypermarché (2 niveaux de fréquence de recours), épicerie/supérette, coiffeur, poste, pharmacie, médecin généraliste

Niveau 3 (recours mensuel) :

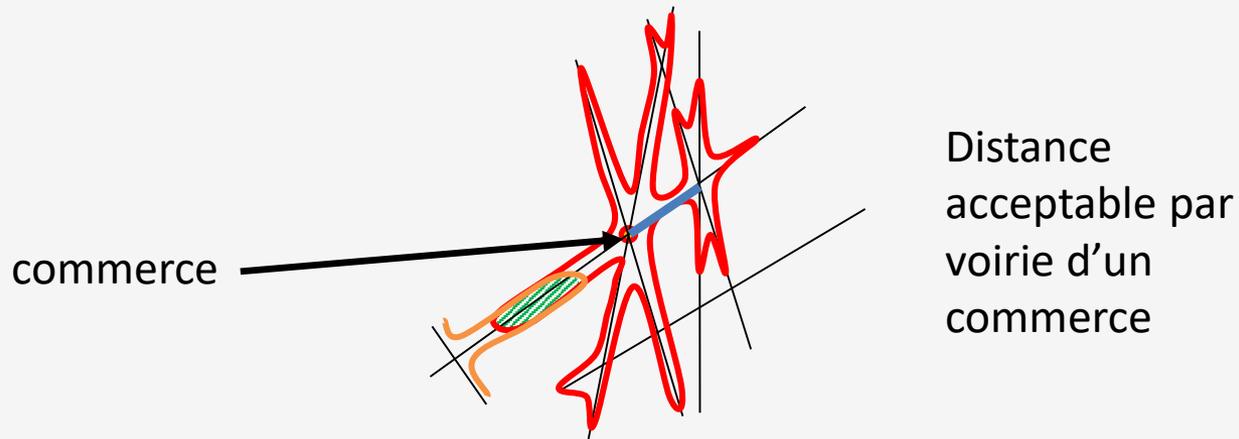
petites, moyennes et grandes surfaces spécialisées, banques-assurances, restaurant, cinéma, théâtre ...

Niveau 4 (recours plus rare) :

préfecture, impôts, hôpital, médecins spécialistes, laboratoires d'analyse médicale, hall d'exposition, magasins spécialisés, services et administrations de fréquentation rare

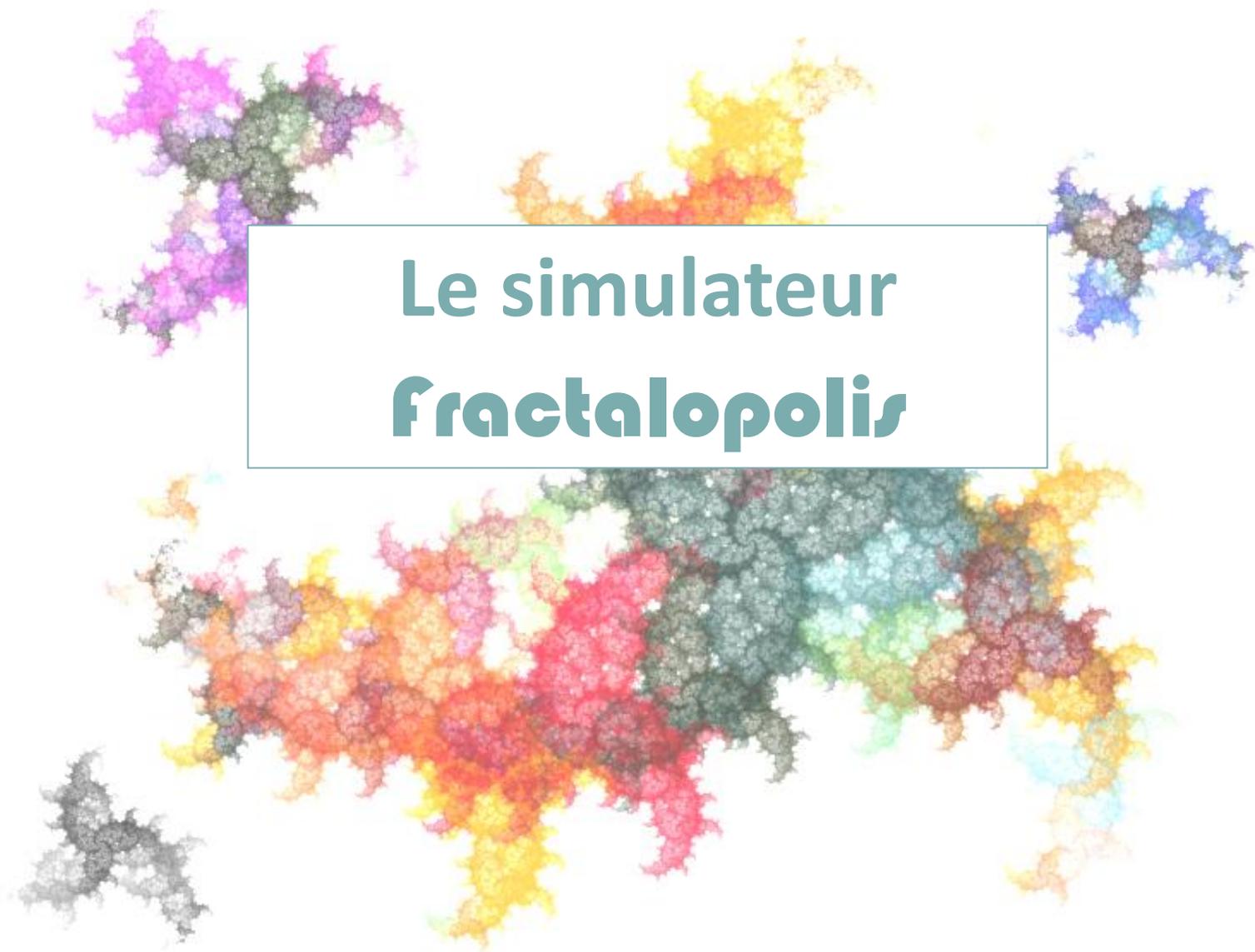
Evaluation synthétique de l'accessibilité aux aménités

- ❑ distances selon les besoins (proximité, hebdomadaire, rare...)
- ❑ la diversité de l'offre (nombre et type)
- ❑ les moyens de transport (marche, TC, voiture...)
- ❑ évaluation selon théorie des sous-ensembles flous
- ❑ accès aux services, commerces et zones vertes



FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

The background of the slide features a complex, multi-colored fractal grid. The grid is composed of numerous small, interconnected nodes and edges, forming a dense, irregular network. The colors used include shades of purple, pink, green, yellow, orange, red, blue, and grey. The overall shape is roughly rectangular but with many protrusions and indentations, characteristic of a fractal structure. A white rectangular box with a thin black border is centered over the grid, containing the text 'Le simulateur fractalopolis' in a teal, sans-serif font.

**Le simulateur
fractalopolis**

FRactal GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

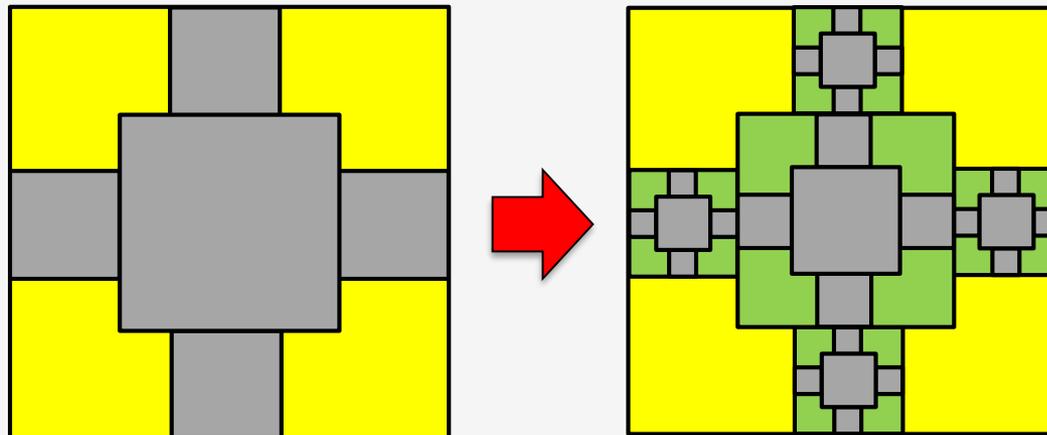
fractalopolis : une logique de zonage

- ❑ définir une multifractale comme modèle spatial
- ❑ zones à développer (espaces à urbaniser) = éléments de la fractale
- ❑ zones à conserver (zones rurales)
- ❑ le modèle distingue les zones « découpées » (nouvelles lacunes générées à chaque étape – notion de différentes proximités)
- ❑ la position des éléments peut être choisie librement en respectant les règles fractales

→ *Logique de zonage*

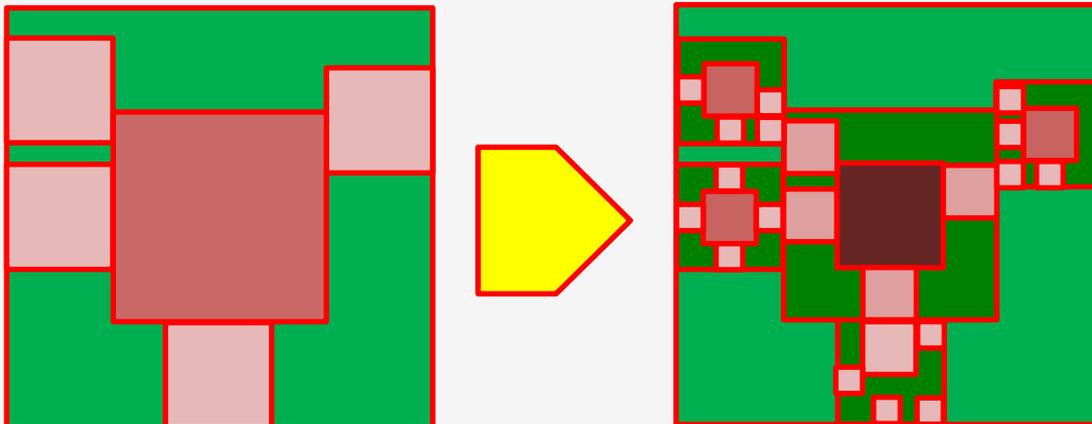
en jaune : $p_{rur(1)}$

en vert : $p_{rur(2)}$



Le choix des paramètres

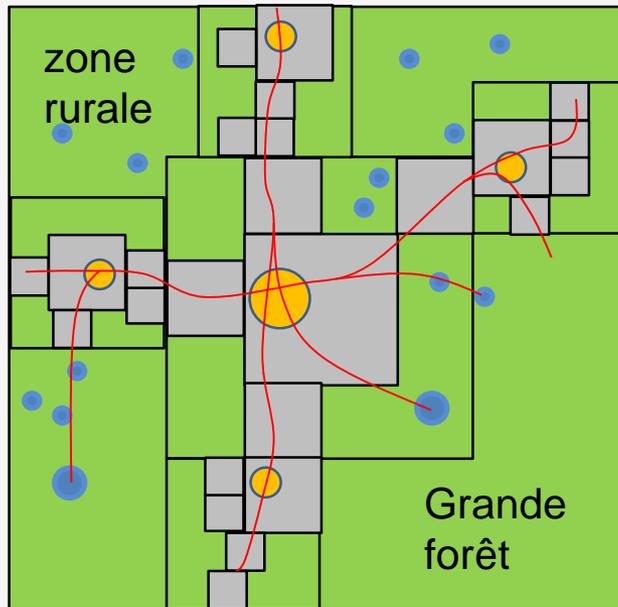
- ❑ Choix d'un IFS en fonction des tâches urbaines existantes
- ❑ Facteurs de réductions r_0 , r_1 et nombre N d'éléments secondaires
- ❑ positionnement des éléments selon situation géographique
- ❑ Application de l'itération – repositionnement des éléments à chaque étape respectant le zonage choisi à l'étape précédente (pas d'intersection, pas de dépassement)



FRRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID

le principe d'application

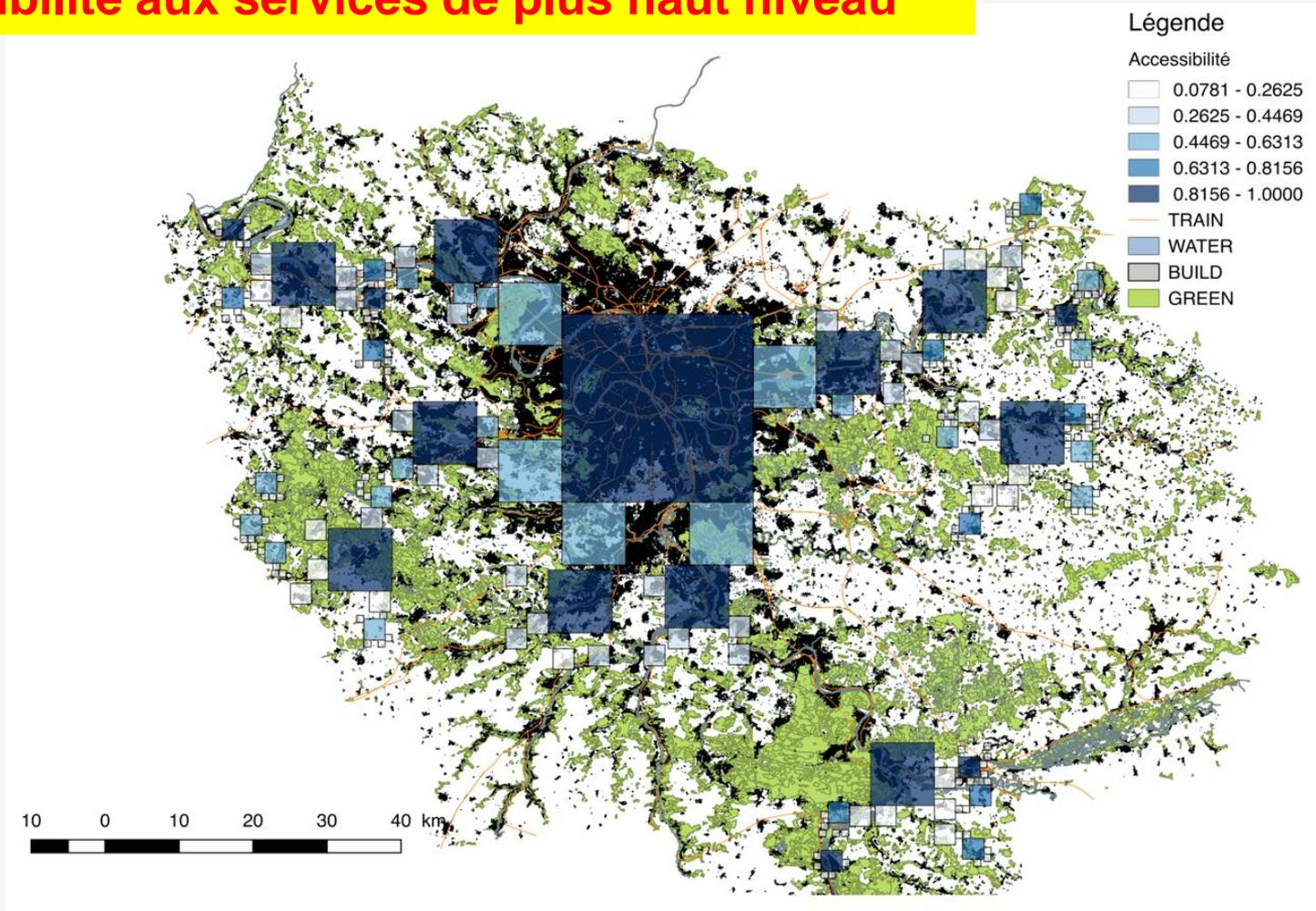


- Centres principaux et secondaires
- Villes hors du système métropolitain

Fractales = zones de développement

- ❑ Permet de mettre au point interactivement un SCOT
- ❑ Fournit des évaluations en temps réel, en fonction de cibles théoriques à atteindre

Accessibilité aux services de plus haut niveau



FRACTAL GRID

TOWARDS THE FUTURE SMART GRID



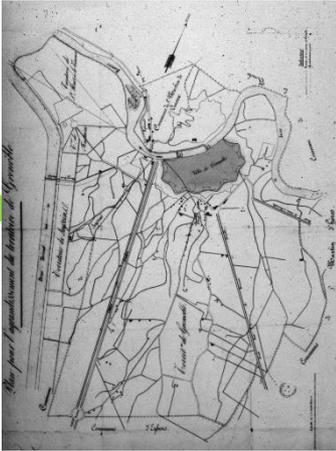
Position des trames vertes principales par rapport au zonage d'étude

Partie 2. Caractérisation fractale des réseaux électriques

Caractérisation fractale des réseaux électriques

- Description du cas d'étude, la ville de Grenoble et son réseau de distribution électrique HTA (20kV)
- Quantification à travers les échelles
 - Analyse fractale
 - Concordances entre forme urbaine et structure spatiale du réseau électrique
 - Comparaison entre territoires

La forme urbaine de Grenoble



Avant 1830 (25000 hab.)
Une petite ville
entourée de villages

1882 (50000 hab.)
Annexion des périphéries,
grandes avenues et parcs

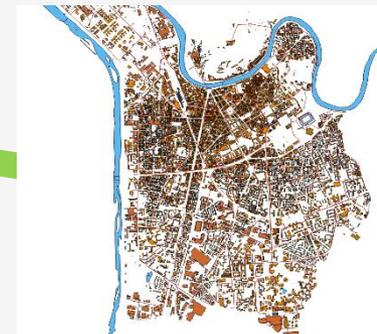


1935 (95000 hab.)
Vers une ville unifiée

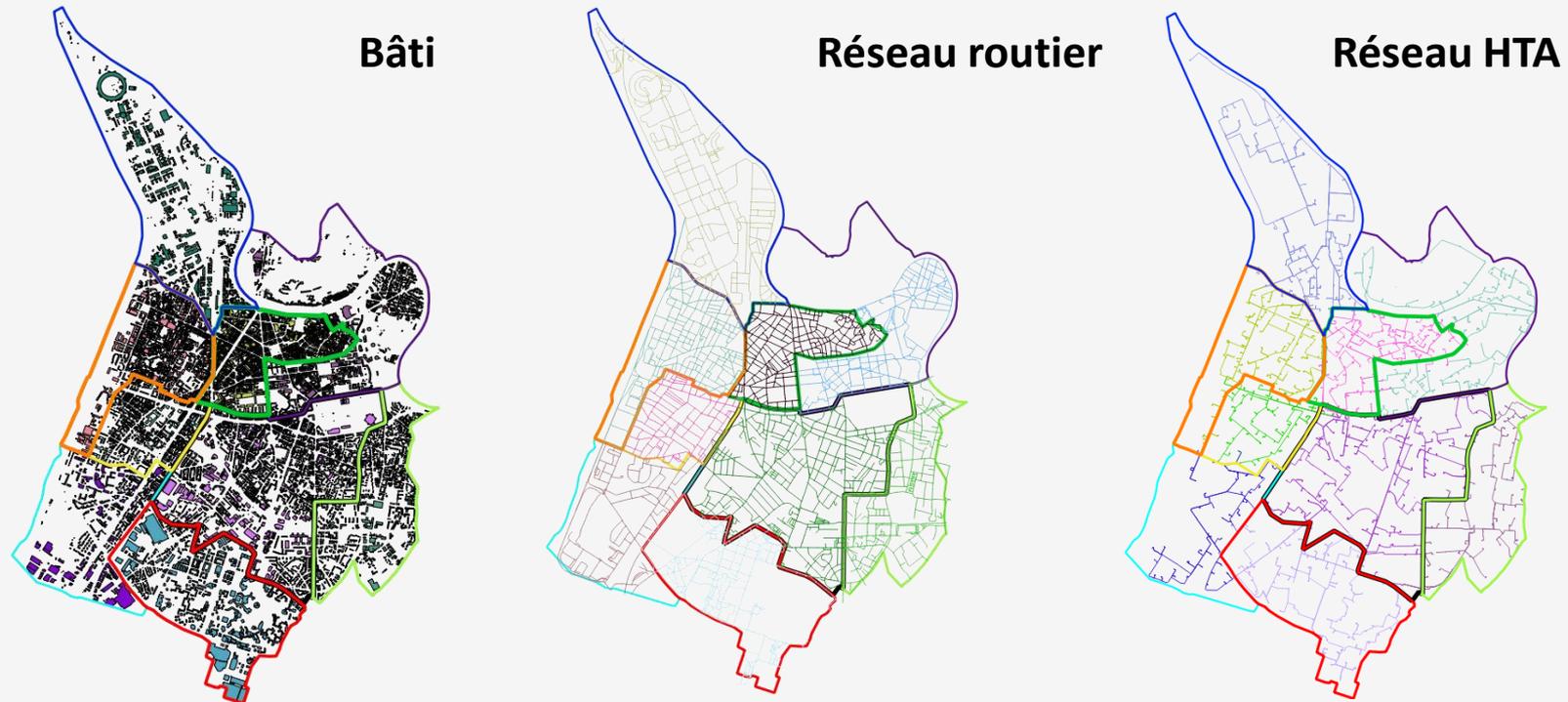


1968 (160000 hab.)
Construction de grands ensembles en périphérie
Développement des grands équipements
scientifiques

Aujourd'hui (160000 hab.)
3^{ème} ville la plus dense après
Paris et Lyon



Formes et réseaux



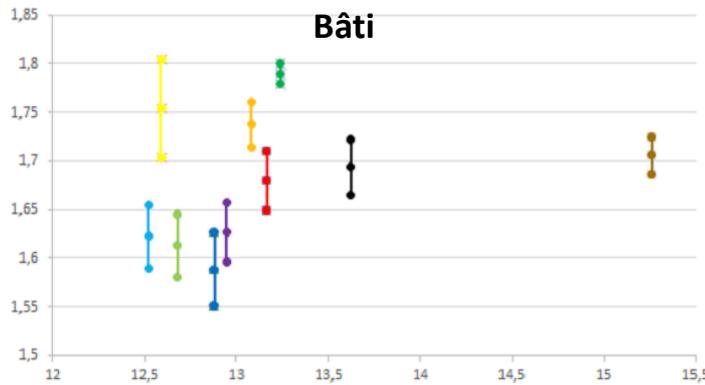
Presqu'île	Equipements scientifiques
Saint Bruno Hypercentre Eaux Claires	Habitat dense, historique, commerces
Mistral-Bâchelard Villeneuve Teisseire	Grands ensembles et grands parcs
Ile Verte Capuche	Zones mixtes



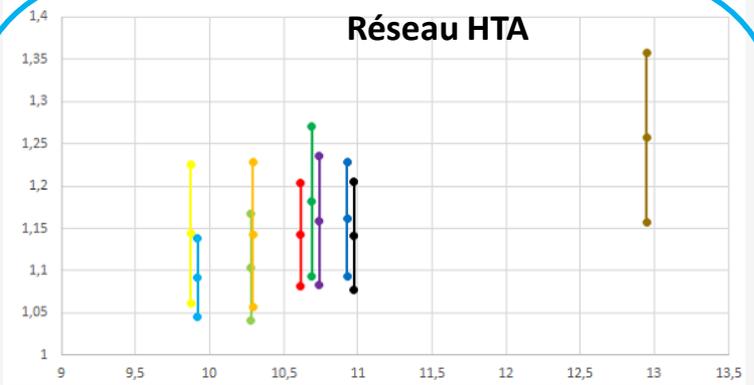
Analyse fractale de Grenoble



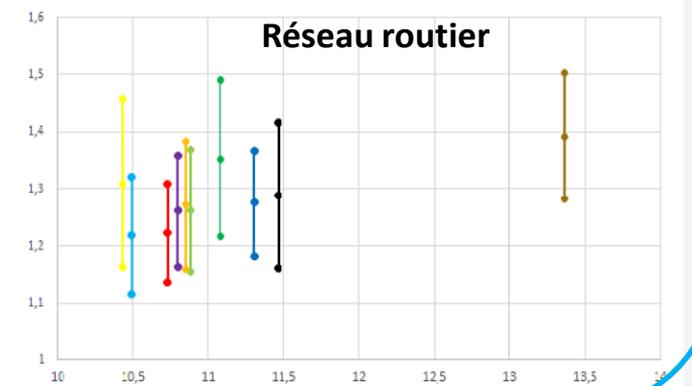
- Dimension fractale D en fonction du préfacteur b
 - $N(\varepsilon) = b \varepsilon^D$ et b est proportionnel à la taille de l'objet



- D bâti n'est pas 2 à cause des vides
- D bâti augmente avec la densité



- D réseaux entre 1 et 2 du fait des bifurcations
- D routier $>$ D HTA \Rightarrow routes fournissent plus d'accessibilité aux bâtiments



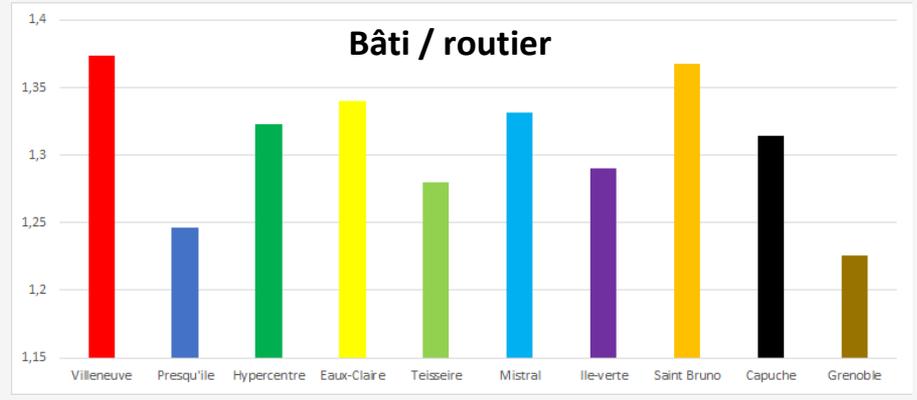
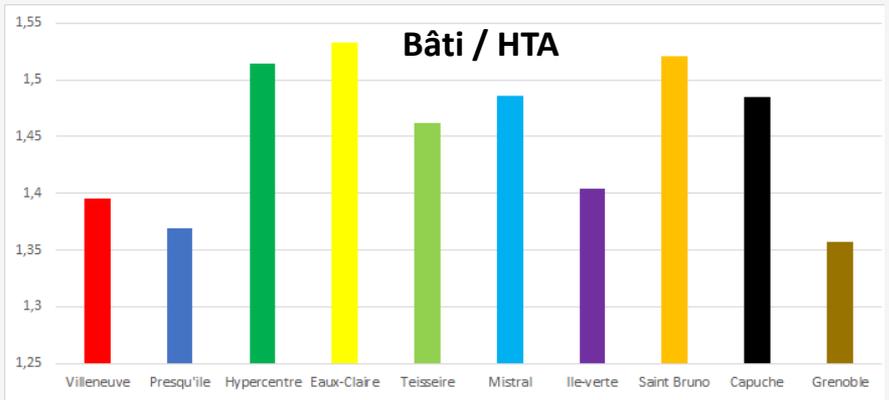
Presqu'île Saint Bruno Hypercentre Ile Verte Eaux Claires Mistral-Bâchelard Villeneuve Capuche Teisseire Grenoble



Analyse de concordance

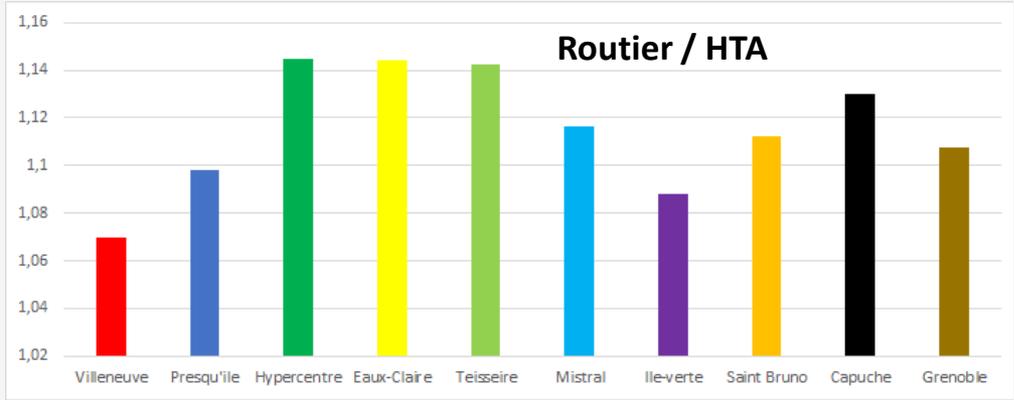


- Ratio des dimensions fractales



+ densité bâti => - concordance avec HTA

Une desserte variable selon les quartiers



>~ 1 => HTA sous-ensemble du réseau routier

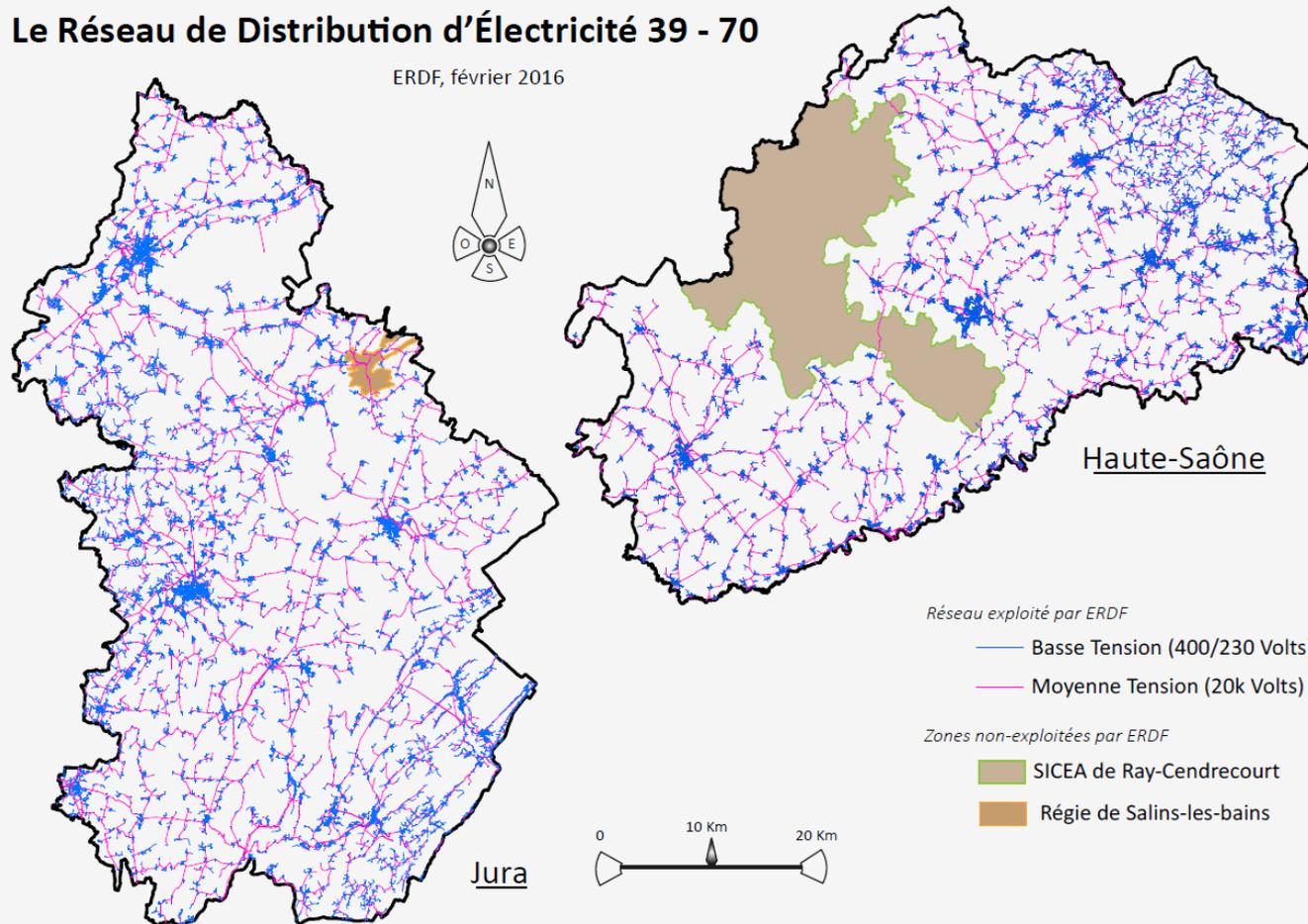
Comparaison avec d'autres territoires



- L'exemple du Jura et de la Haute-Saône

Le Réseau de Distribution d'Électricité 39 - 70

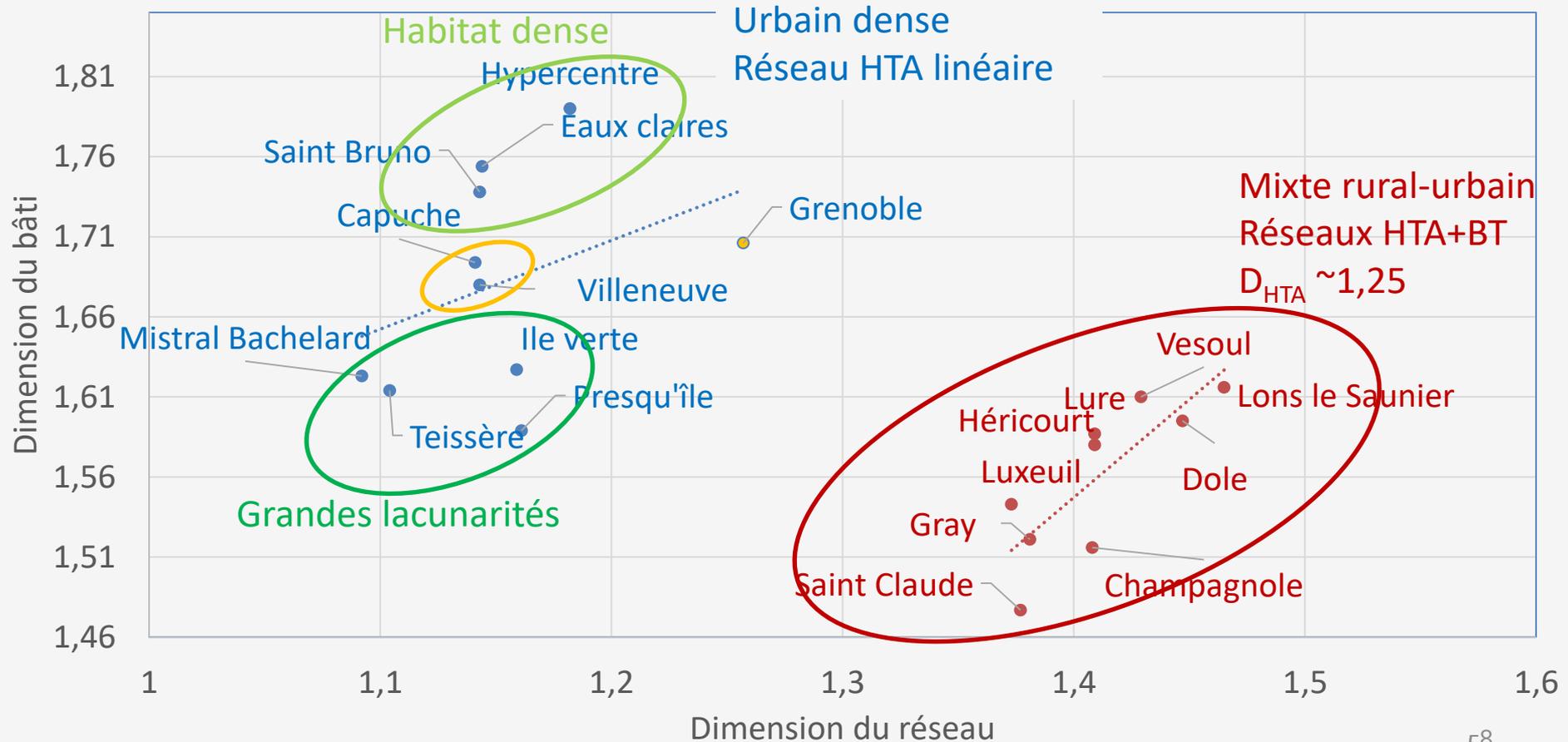
ERDF, février 2016



Comparaison avec d'autres territoires



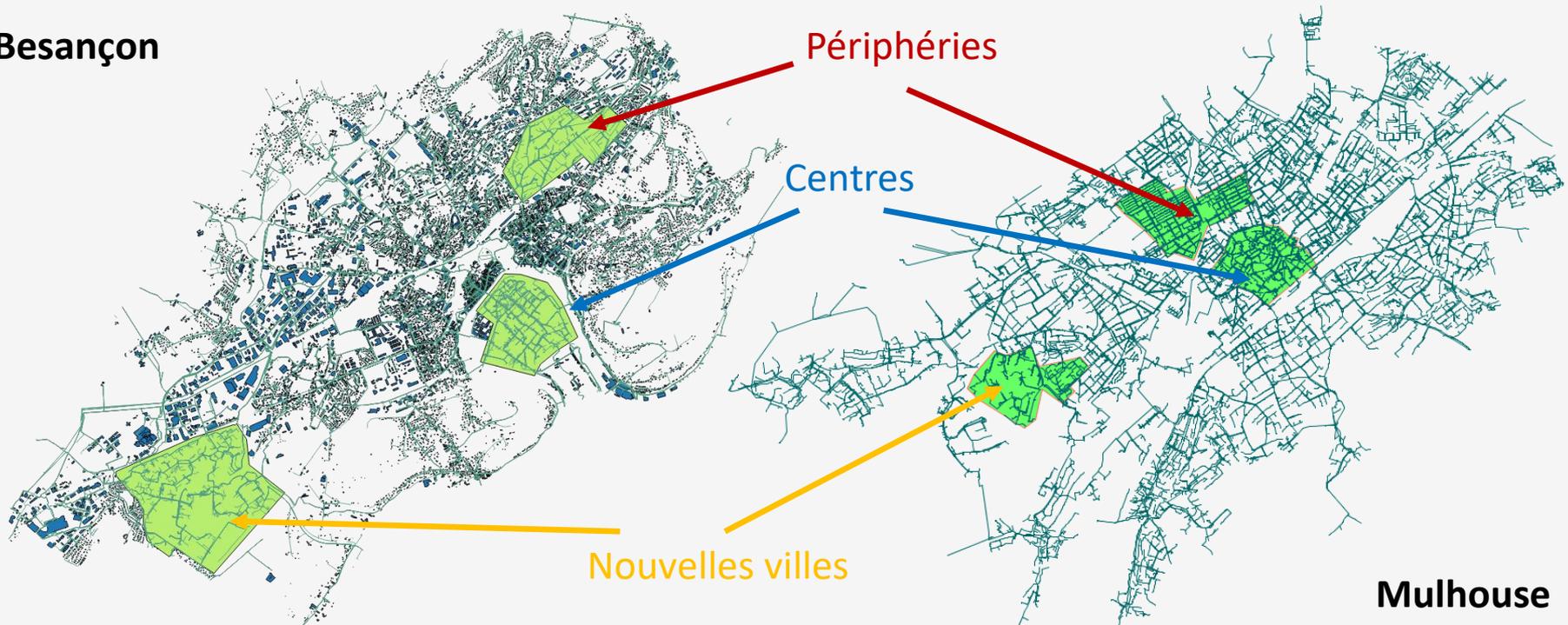
- HTA Grenoble vs. HTA+BT Jura et Franche-Comté



Analyse scalante du ratio bâti/réseau



Besançon

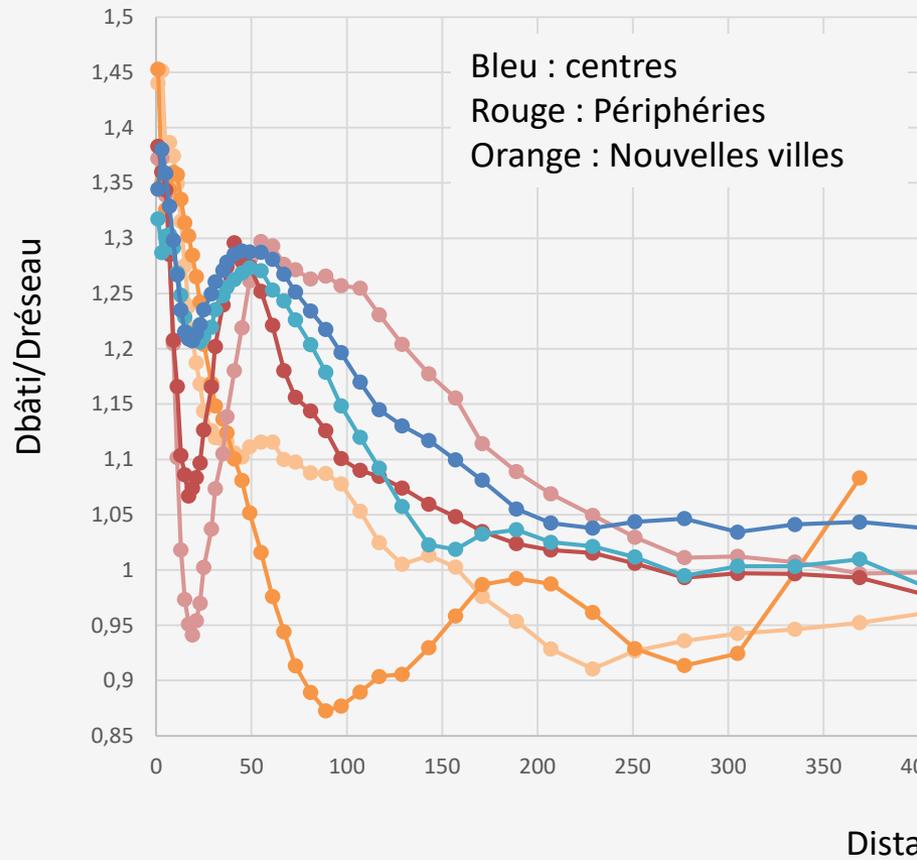


Mulhouse

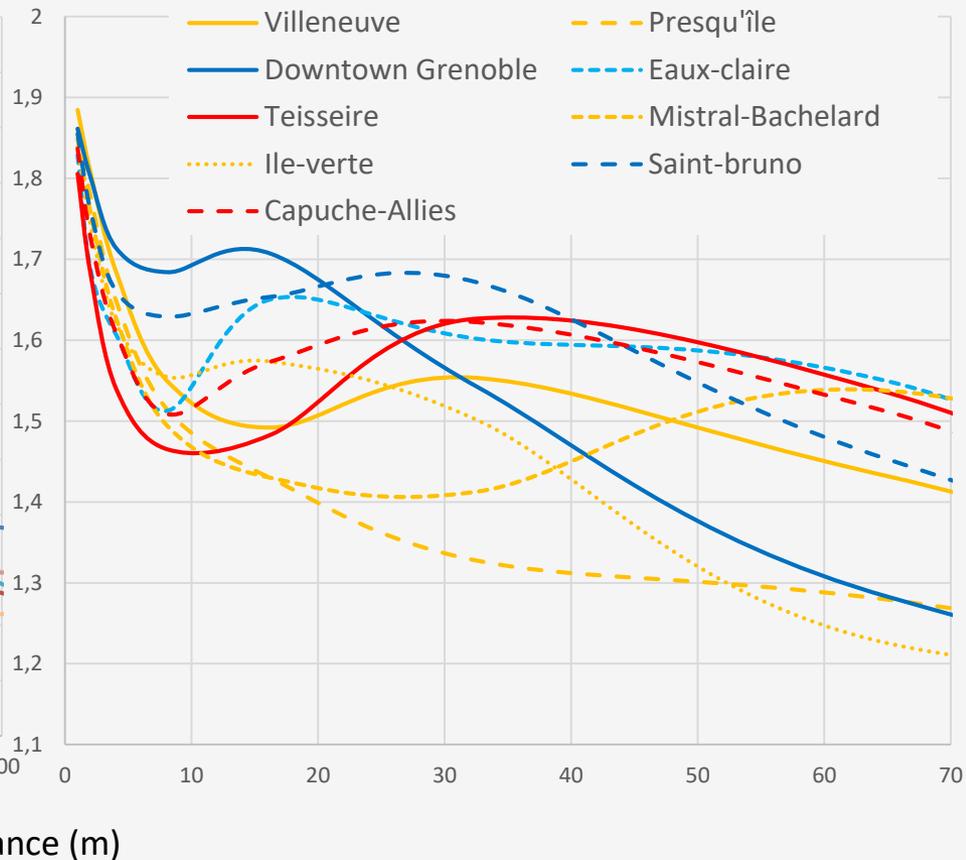
Analyse scalante du ratio bâti/réseau



Mulhouse et Besançon



Grenoble



Problématiques du projet ANR Fractal Grid

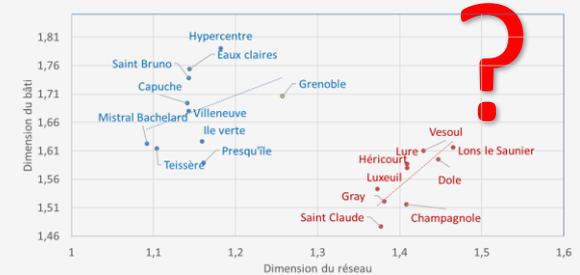
Comment décrire le système électrique à travers les échelles ?



Quantification de la concordance entre la forme urbaine et la structure spatiale du réseau électrique

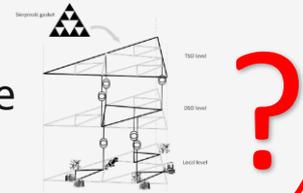
Quelle planification du système électrique sur un territoire ?

Quelle gestion multi-échelles des flexibilités du réseau ?



Quel ratio des dimensions fractales du bâti et du réseau est pour garantir la meilleure accessibilité ?

Quels bénéfices retirer d'une architecture fractale ?



Partie 3. Reconfiguration fractale de Grenoble

Bénéfices de la fractalité



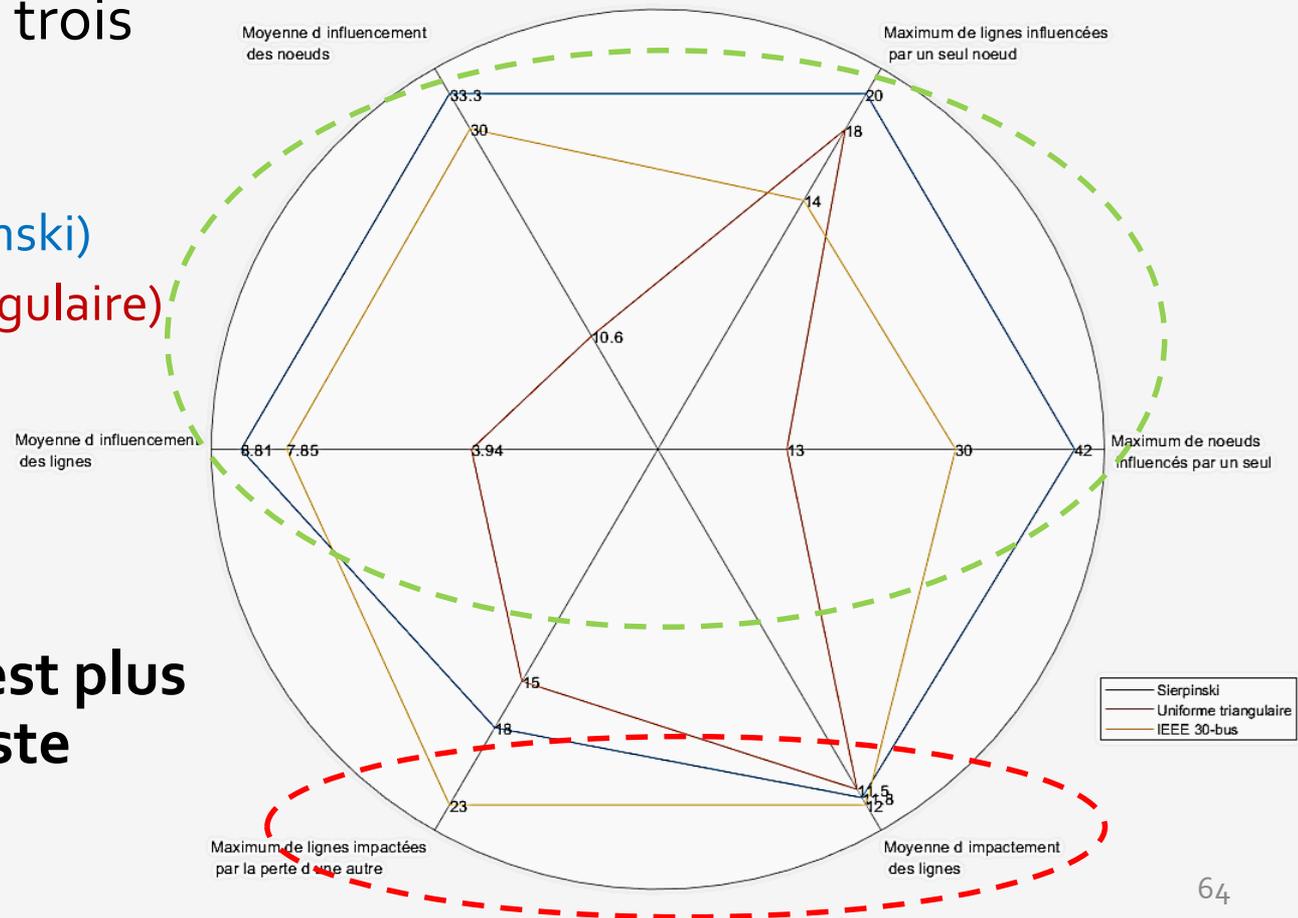
- Comparaison de trois architectures :

- Maillée (IEEE)
- Fractale (Sierpinski)
- Uniforme (triangulaire)

- Critères :

- Robustesse
- Flexibilité

- Réseau fractal est plus flexible et robuste

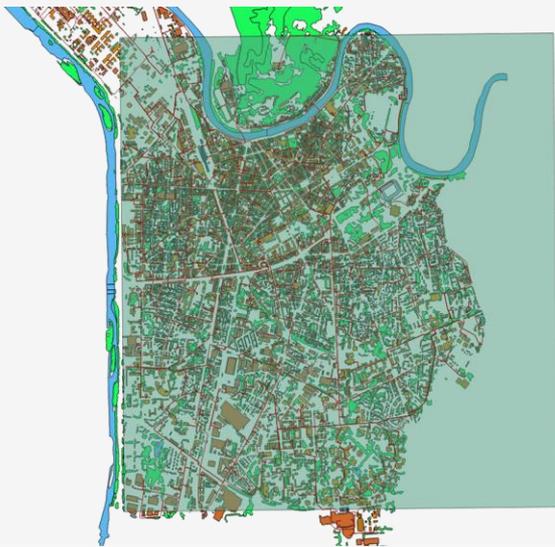


Éléments d'une planification fractale

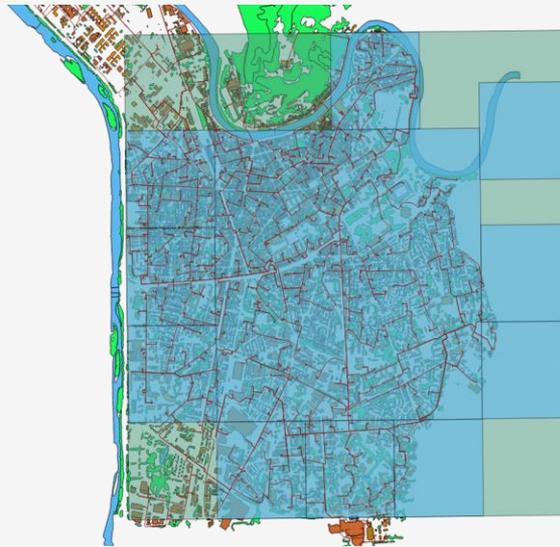


- Utilisation de Fractalopolis
- Construction du motif fractal inspire de la structuration du bâti

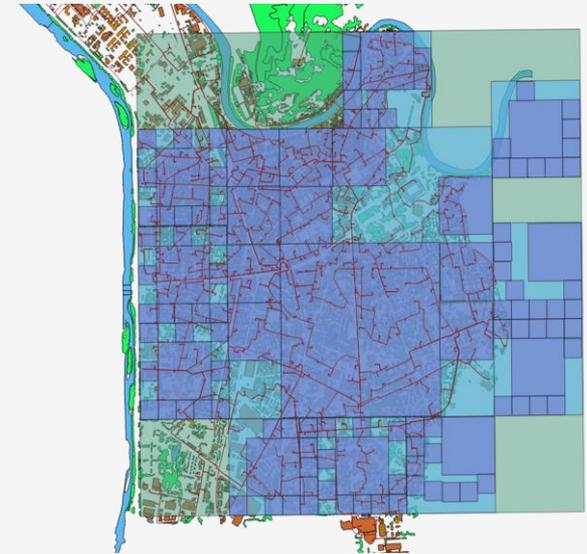
Motif initiateur



Motif générateur



Motif itéré

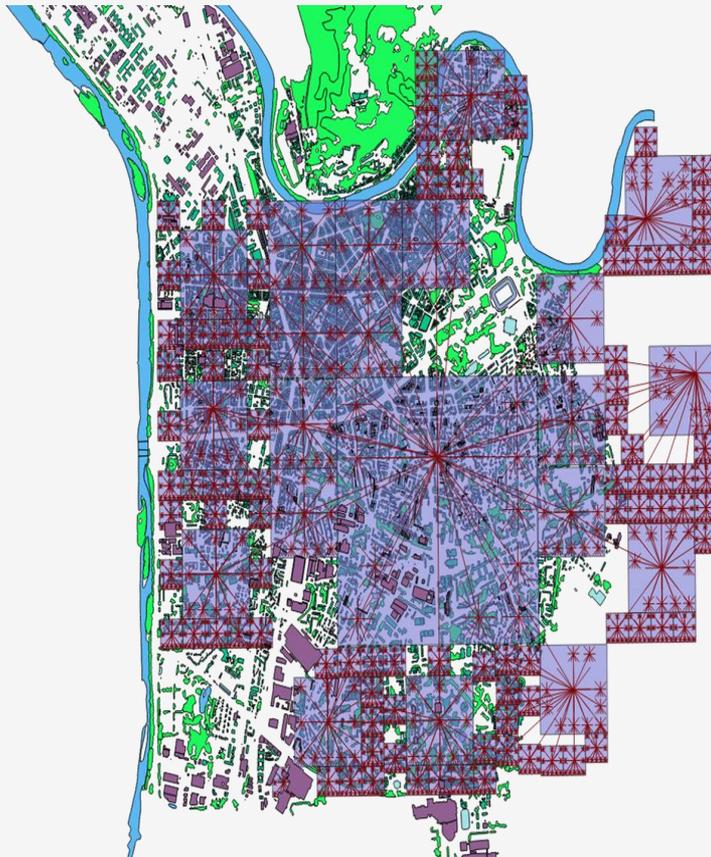


- Approche encore très méthodologique
 - Emprise imparfaite

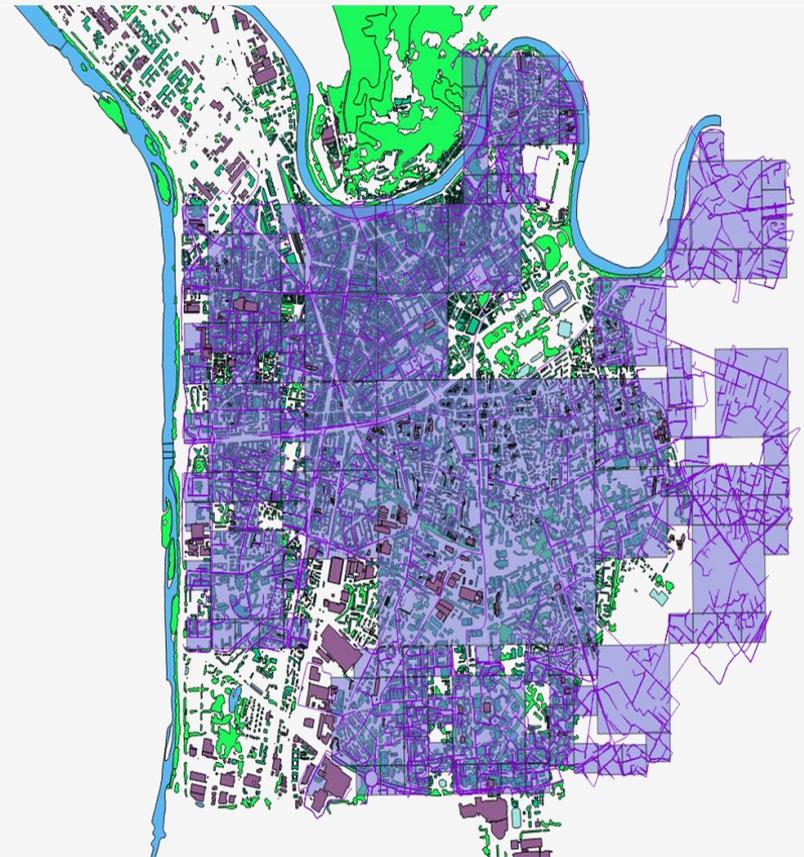
Éléments d'une planification fractale



- Construction du réseau selon une logique arborescente



Réseau théorique



Réseau « réaliste »

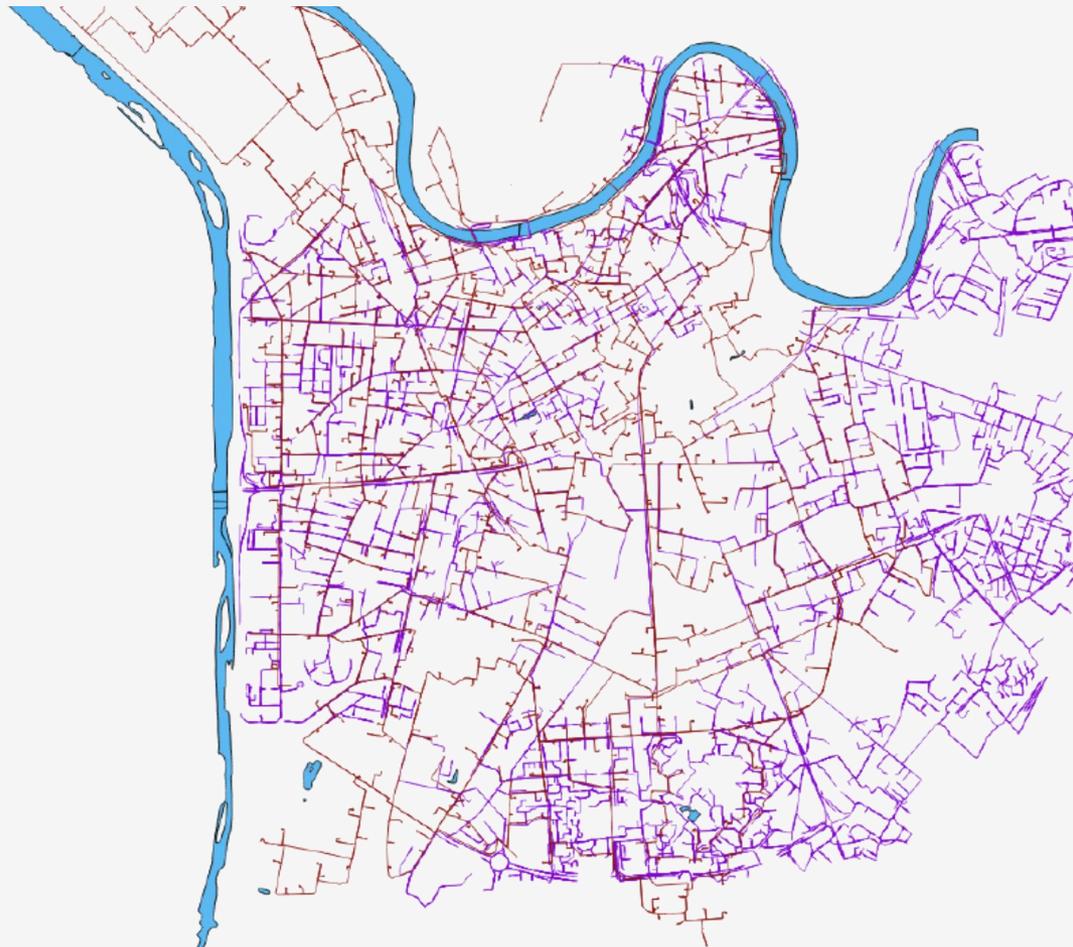
Éléments d'une planification fractale



- Comparaison des géométries des réseaux HTA et fractal

Réseau fractal

Réseau HTA



Comparaison quantifiée des deux structures

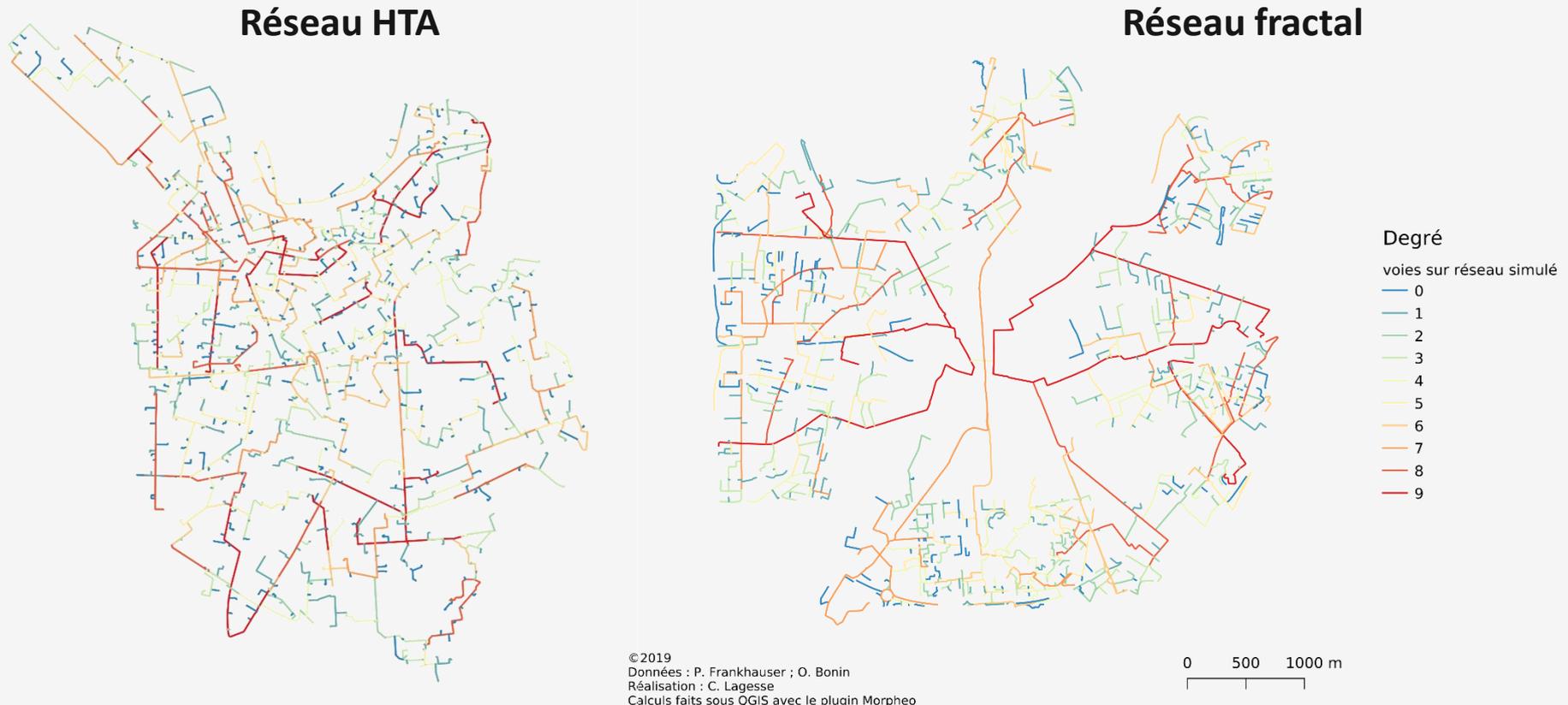


- Caractérisation de la structure
 - Hiérarchisation / territorialisation des éléments
 - Pas d'autres attributs que la géométrie => étude essentiellement topologique
 - évaluation des centralités à travers des indicateurs issus de la théorie des graphes
- Indicateurs classiques de la théorie des graphes
 - Degré : nombre de connexions de chaque ligne
 - Utilisation (Stress centrality) : comment une ligne est utilisée
 - Proximité (Closeness centrality) : à quelle ligne est proche de l'ensemble du réseau
- Indicateur complémentaires proposé
 - Espacement : distance moyenne entre deux connexions sur une ligne

Comparaison des degrés



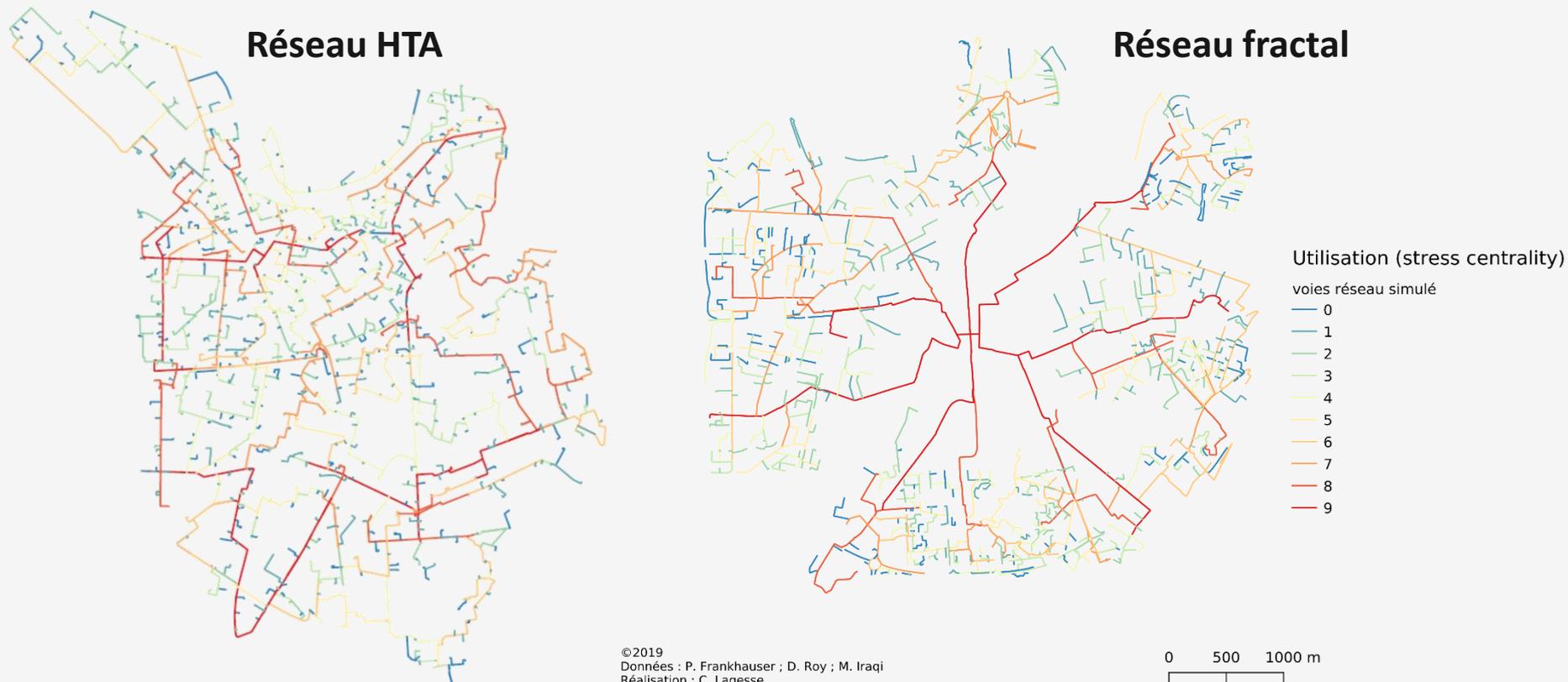
- Réseau fractal est beaucoup plus territorialisé



Comparaison des « utilisations »



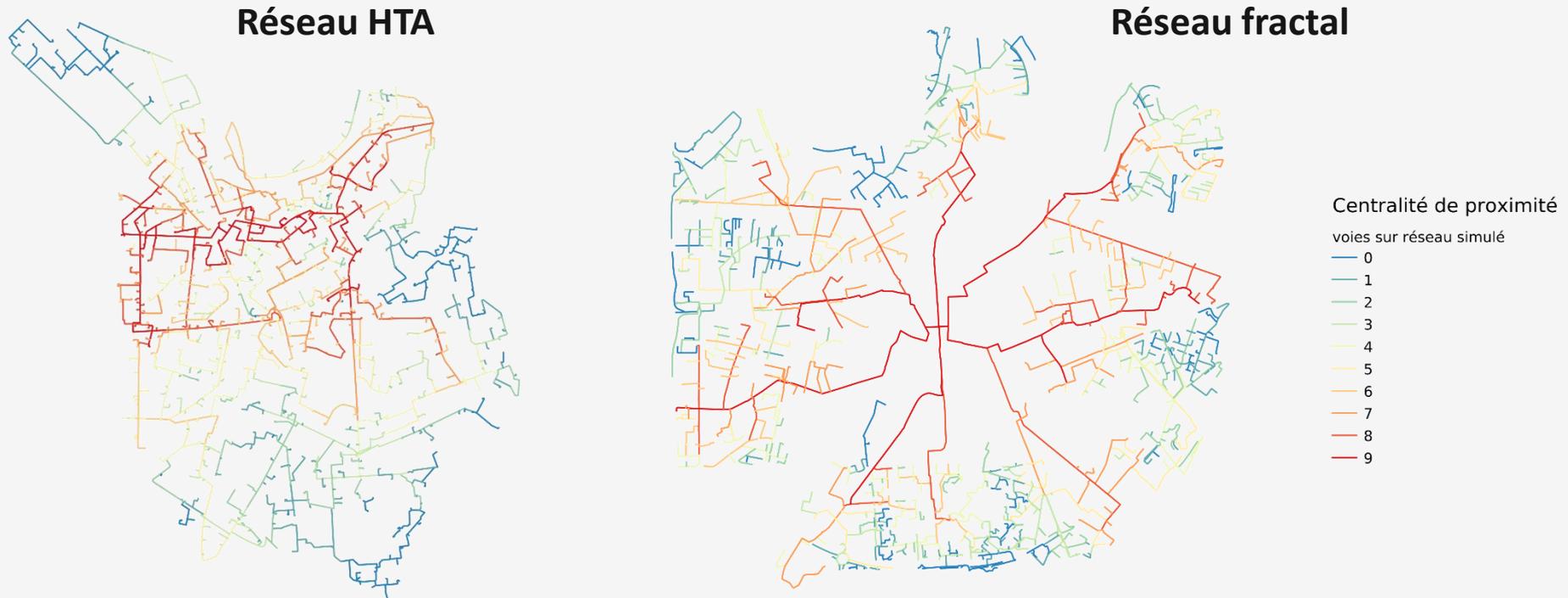
- Deux hiérarchisations très différentes
 - Une maille apparaît au niveau du réseau HTA
 - Réseau fractal apparaît comme étant moins robuste



Comparaison des proximités



- Accessibilité meilleure dans le vieux centre au nord pour le réseau HTA
- Dispatchée de manière très étoilée dans le réseau théorique



Comparaison des espacements



- Réseau HTA : beaucoup plus hétérogène
- Réseau théorique : regroupements de lignes d'espacement faible



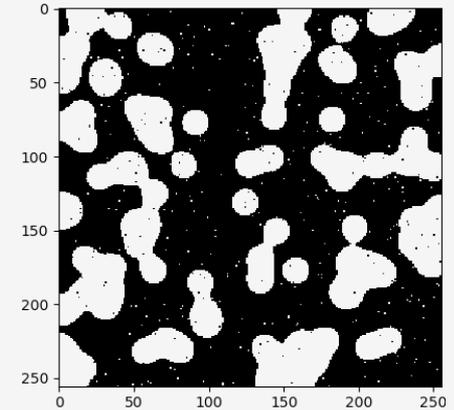
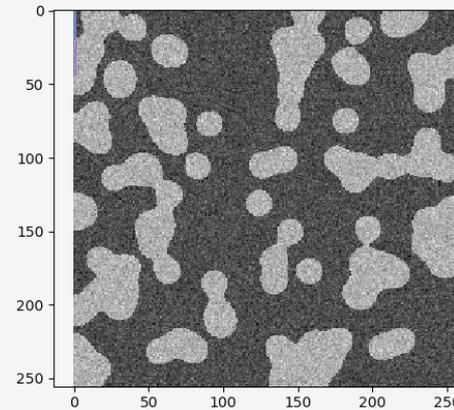
- Réseaux "organiques" vs. réseaux planifiés :
 - Deux visions d'aménagement du territoire très différentes
 - **Quelles performances en attendre ?**

Partie 4. La 3^{ème} dimension électrique

Le problème de la 3^{ème} dimension

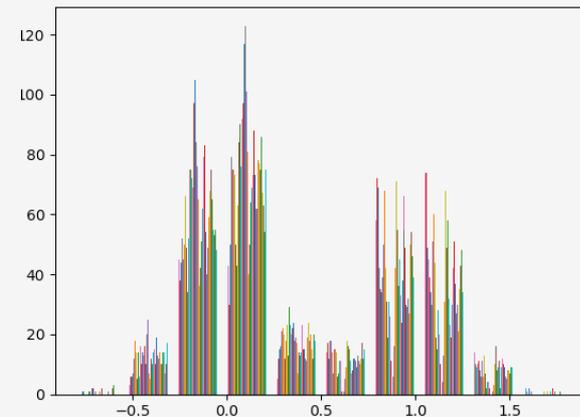


- Comment faire le lien entre la structure et **les performances électriques (tensions, puissances)** du réseau ?
 - Utilisation des approches multifractales
- Analogie avec le traitement d'une image
 - Analyse fractale = dimension de l'ensemble des pixels de l'image binarisée
 - Analyse multifractale = dimension de l'ensemble des pixels avec le même niveau de gris
- Pour les réseaux électriques:
 - Pixel = nœud
 - Gris = tension



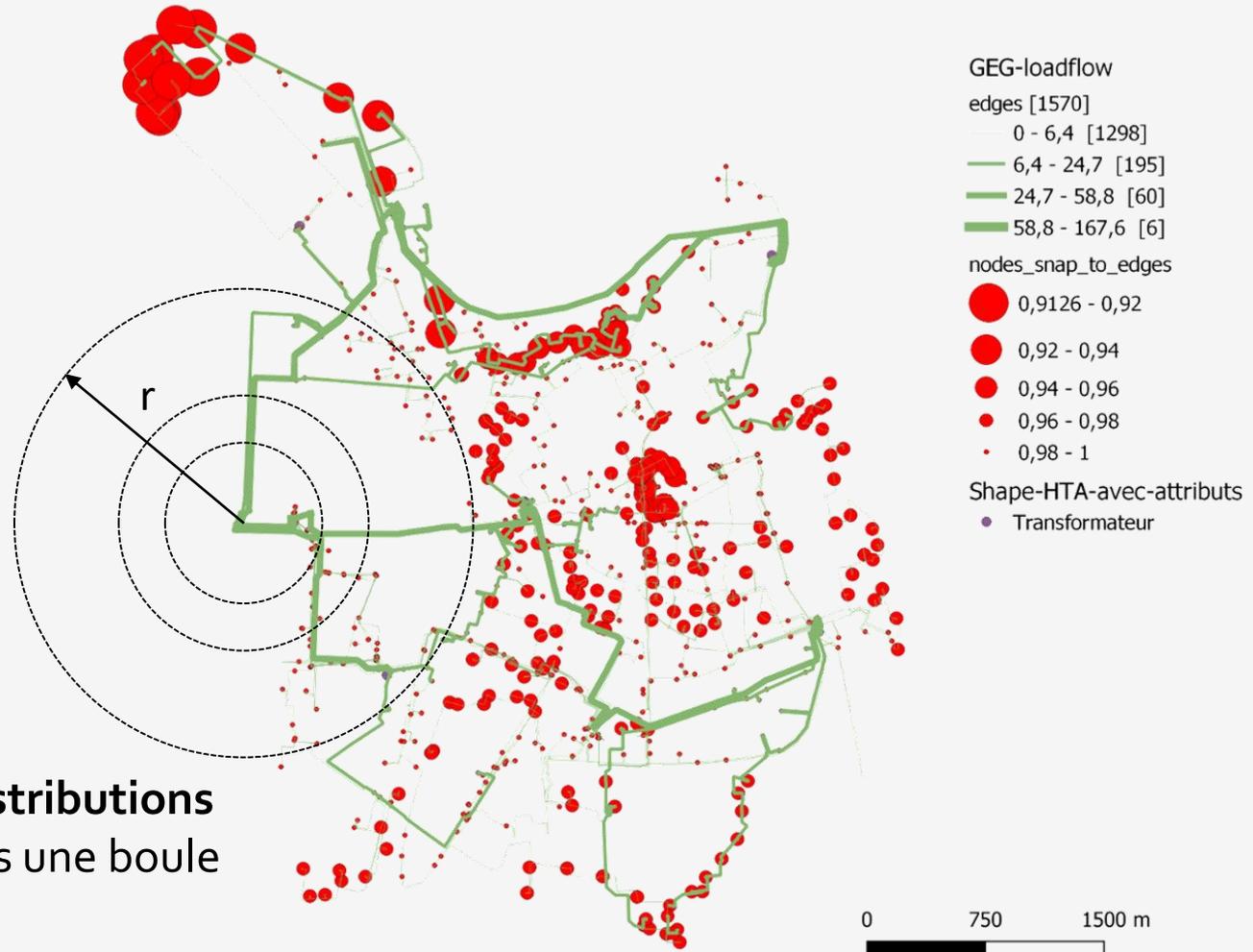
Image

Image binarisée



Histogramme niveaux de gris

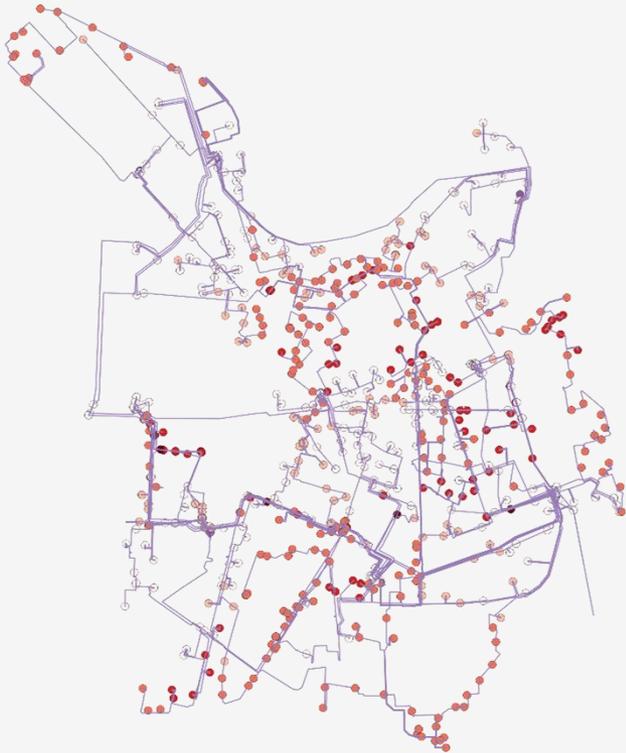
Analyse multifractale de Grenoble



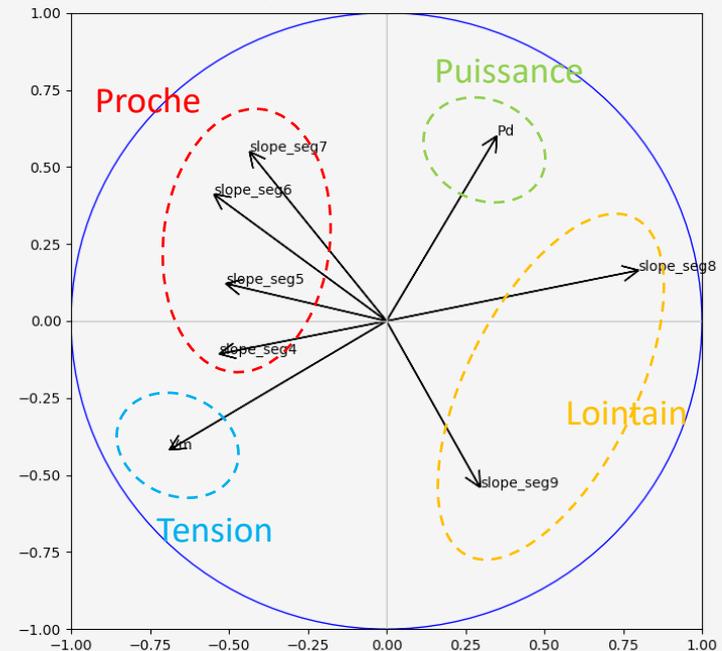
Analyse des distributions
de tension dans une boule
de rayon r

Analyse multifractale de Grenoble

- Cartographie des variations de tension pour chaque nœud à une distance donnée
 - Mesure des pentes
 - Fortes pentes => ruptures dans l'évolution des tensions



- Analyse en composantes principales
 - Réduire l'analyse à des données décorrélées



- Des variations de tension proches ou lointaines
- Plus la tension d'un nœud est élevée, plus la variation de tension est au proche voisinage
- Plus la puissance d'un nœud est élevée, plus la variation de tension va avoir lieu à une grande distance du nœud

Conclusions

- La fractalité est un concept opératoire pour l'analyse des territoires
 - Permet d'unifier usage (bâti), mobilité (réseau routier) et énergies
 - La fractalité peut guider la reconfiguration des territoires
 - Des gains sont espérés en termes de flexibilité
 - Propice à une insertion territorialisée du renouvelable
-
- Un nécessaire approfondissement :
 - des liens entre structure géométrique et propriétés électriques
 - des reconfigurations et de leur impact sur les performances