

Présentation du rapport
« Réussir la transition énergétique dans les territoires »
Outils et méthodes de planification spatiale et énergétique urbaine



Un rapport appuyé sur les économies d'échelle et de gamme de la morphologie urbaine et des systèmes complexes

- La 2^e conférence environnementale a été l'occasion pour le Président de la République de fixer un cap pour la transition énergétique.
- L'accompagnement des politiques publiques pour la transition énergétique est une des priorités stratégiques du groupe Caisse des Dépôts: mobiliser les financements à grande échelle, proposer l'accompagnement dont les territoires auront besoin, accélérer la transition
- Un rapport confié à l'Institut des Morphologies Urbaines par la direction de la stratégie de la Caisse des Dépôts en janvier 2013.
- **Objectif: Expliciter les liens entre organisation spatiale des territoires et efficience énergétique en proposant une méthodologie d'analyse et une quantification de ces liens**

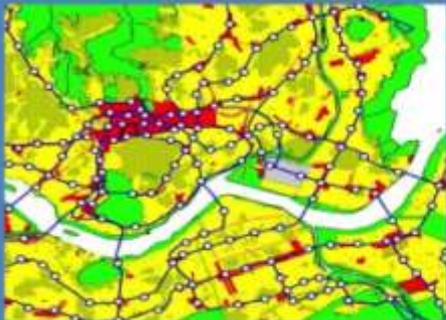
Un rapport remis à la CDC en novembre 2013

Un rapport qui s'inscrit dans une dynamique internationale de meilleure prise en compte de la planification spatiale dans l'efficacité énergétique et la lutte contre le changement climatique

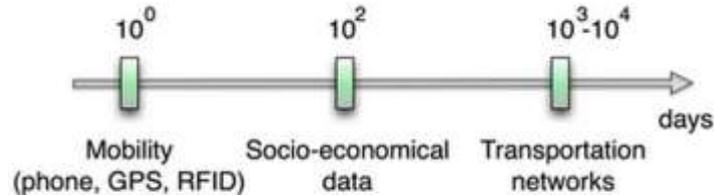
1. Le rapport a été élaboré en collaboration avec les auteurs du GIEC et du Global Energy Assessment.
2. Le rapport est une contribution forte au chapitre 12 du cinquième rapport du GIEC : «*Human Settlements, Infrastructure, and Spatial Planning*» (à paraître en avril 2014)
 - C'est la première fois que le GIEC intervient sur l'urbain.
 - C'est la seule contribution française dans le domaine de l'urbain
3. Les travaux menés dans le cadre du rapport ont permis à l'Institut de:
 - Contribuer aux travaux de l'UNEP et de l'UNEP-Finance Initiative (Global Roundtables à Pékin)
 - Contribuer à des notes préparatoires pour une action « Ville et Climat » à la COP21
 - Contribuer aux piliers planification spatiale et planification énergétique de la nouvelle stratégie d'urbanisation chinoise (+ 350 à 500 millions de nouveaux urbains d'ici 2030) avec le DRC du State Council chinois et la Banque Mondiale. Thèmes de la rupture avec les superblocs, du grain fin et de la densification des réseaux repris par le Ministre Chinois des villes
 - Présenter à la Commission Lauvergeon le rôle de la forme urbaine comme innovation non-technologique pour la transition énergétique

L'approche de l'Institut des Morphologies Urbaines et des systèmes complexes

- A partir des données de plus en plus nombreuses sur les territoires, L'Institut vise à élaborer une approche scientifique qui permette d'explicitier de manière quantitative un certain nombre de liens entre la structure spatiale des territoires, celle de leurs réseaux et leur efficacité énergétique, leur productivité économique, leur inclusivité sociale.
- L'approche est morphologique et de systèmes complexes. Par morphologie nous n'entendons pas seulement les formes physiques mais également celles des liens sociaux et économiques entre les acteurs des territoires.
- Cet effort pour comprendre la ville comme système complexe est interdisciplinaire et s'appuie sur les acquis de la géographie quantitative et de l'économie spatiale, sur le corpus de connaissances des architectes, des urbanistes et des sociologues urbains, ainsi que sur les outils de la géomatique et sur des méthodes de modélisation issues de la physique statistique.



L'organisation des territoires doit s'appréhender selon plusieurs échelles de temps.
Le temps long des structures entraîne des chemins de dépendance énergétique

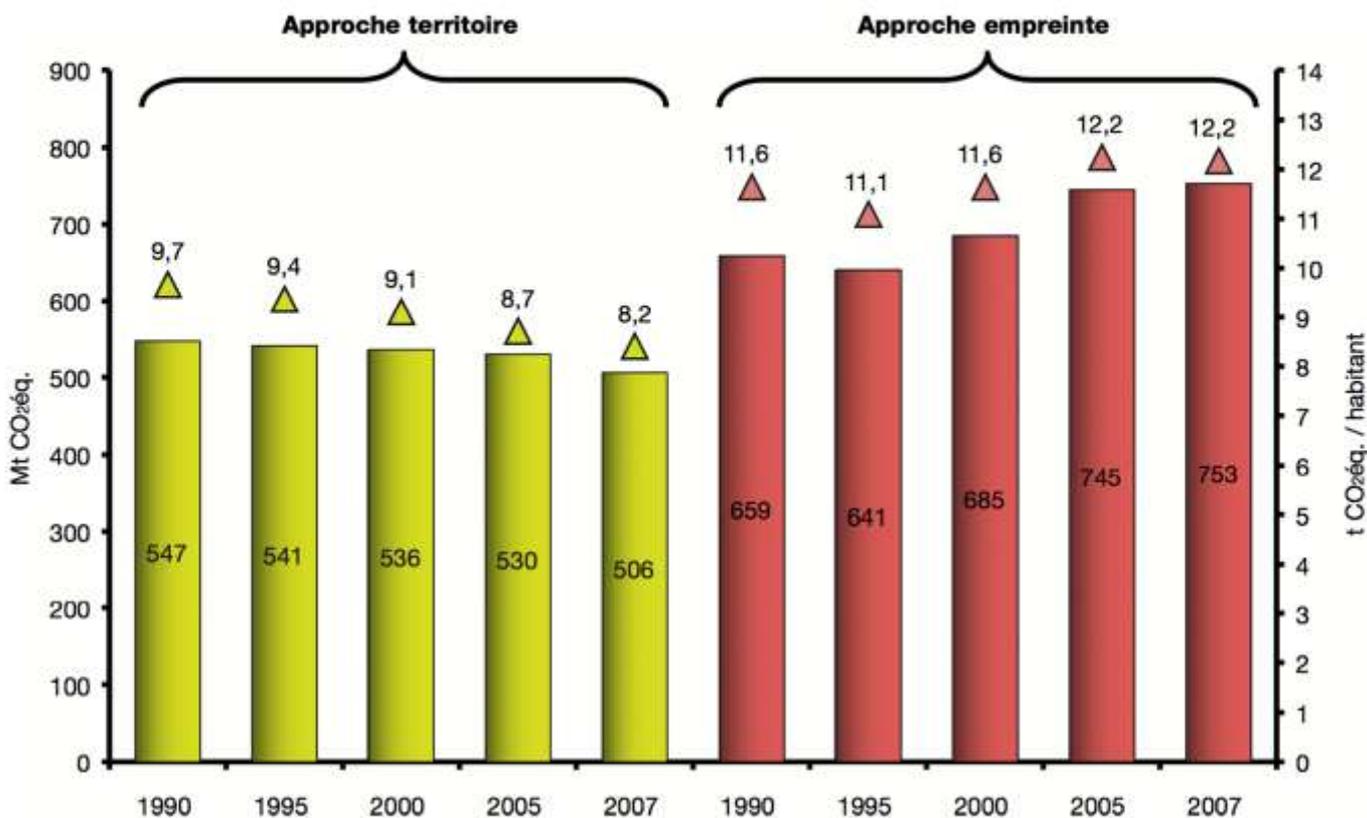


- L'organisation des territoires doit s'appréhender selon des échelles de temps qui vont de la journée à plusieurs décennies, voire des siècles.
- À l'échelle de la journée, les données collectées par les téléphones portables et les GPS permettent de préciser les patterns de mobilité sur les territoires, de réinterroger les modèles gravitaires et de fournir une image plus précise de la polycentricité des territoires.
- À l'échelle de l'année, les données socio économiques permettent de construire des variables agrégées comme les densités démographiques, économiques, énergétiques et leur distribution spatiale à différentes échelles spatiales, et d'analyser leur évolution en évaluant l'efficience économique et énergétique des territoires.
- À de très longues échelles de temps, comme des décennies ou des siècles, on voit émerger des structures et leur stabilité et leurs chemins de dépendance peuvent être analysés. Par exemple, les grands réseaux de métros tendent sur la longue durée à converger vers des structures similaires caractérisées par des valeurs proches d'indicateurs morphologiques issus de la théorie des graphes. On peut également classifier l'évolution longue des réseaux d'infrastructures routières et l'impact de long terme des investissements et de la planification spatiale.

Les territoires sont interdépendants

Les approches production seules ne rendent pas compte des émissions urbaines

Émissions de GES de la France selon l'approche territoire et l'approche empreinte

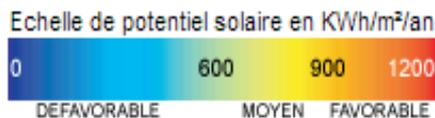


L'approche territoire, qui est celle du protocole de Kyoto, permet de comptabiliser les émissions de GES là où elles sont émises. L'approche empreinte permet de comptabiliser les émissions dues à la demande finale intérieure d'un pays ou d'une ville en ajoutant les émissions liées aux produits importés et en retranchant celles des produits fabriqués sur son territoire puis exportés.

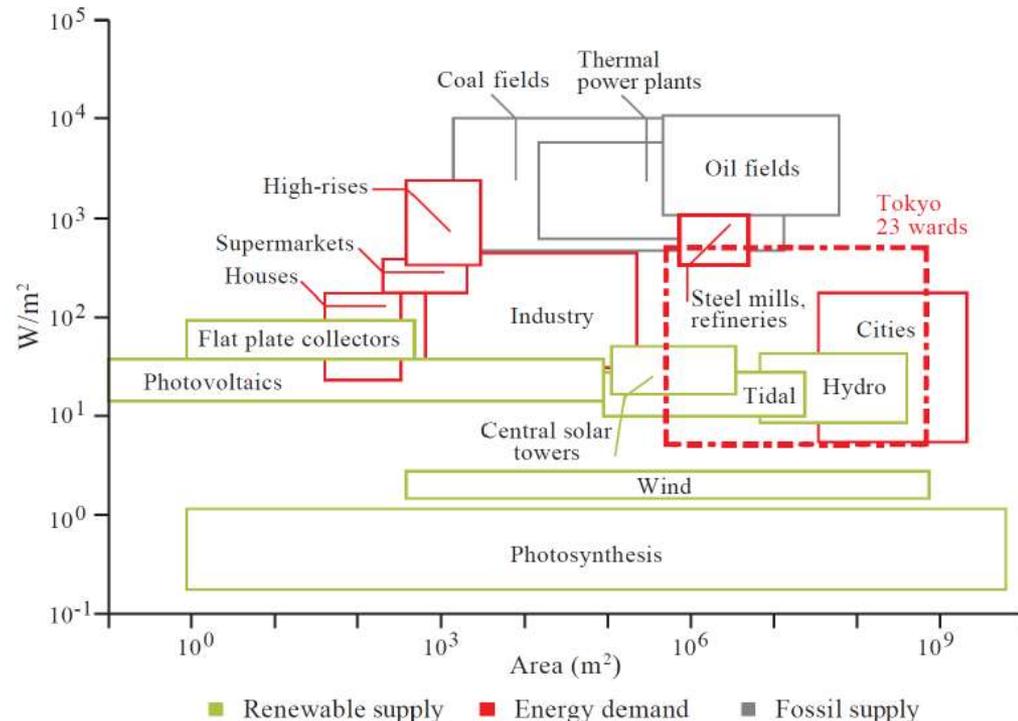
Les émissions selon l'approche territoire représentent 67 % des émissions selon l'approche empreinte en 2007, contre 83 % en 1990. Cela est dû notamment au phénomène de tertiarisation de l'économie française, au détriment de l'industrie, très émettrice de CO₂, et de l'agriculture, émettrice de méthane (CH₄). Une part croissante des émissions liées à la demande intérieure française est donc « importée ».

La densité énergétique urbaine actuelle élevée entraîne une dépendance aux énergies fossiles

- La densité de la demande d'énergie dans les zones urbaines est comprise **entre 10 W/m² et 100 W/m²**, et peut atteindre 1 000 W/m² dans les quartiers d'affaires
- Le potentiel local en énergies renouvelables est de **quelques W/m²** dans des conditions idéales (hors géothermie)



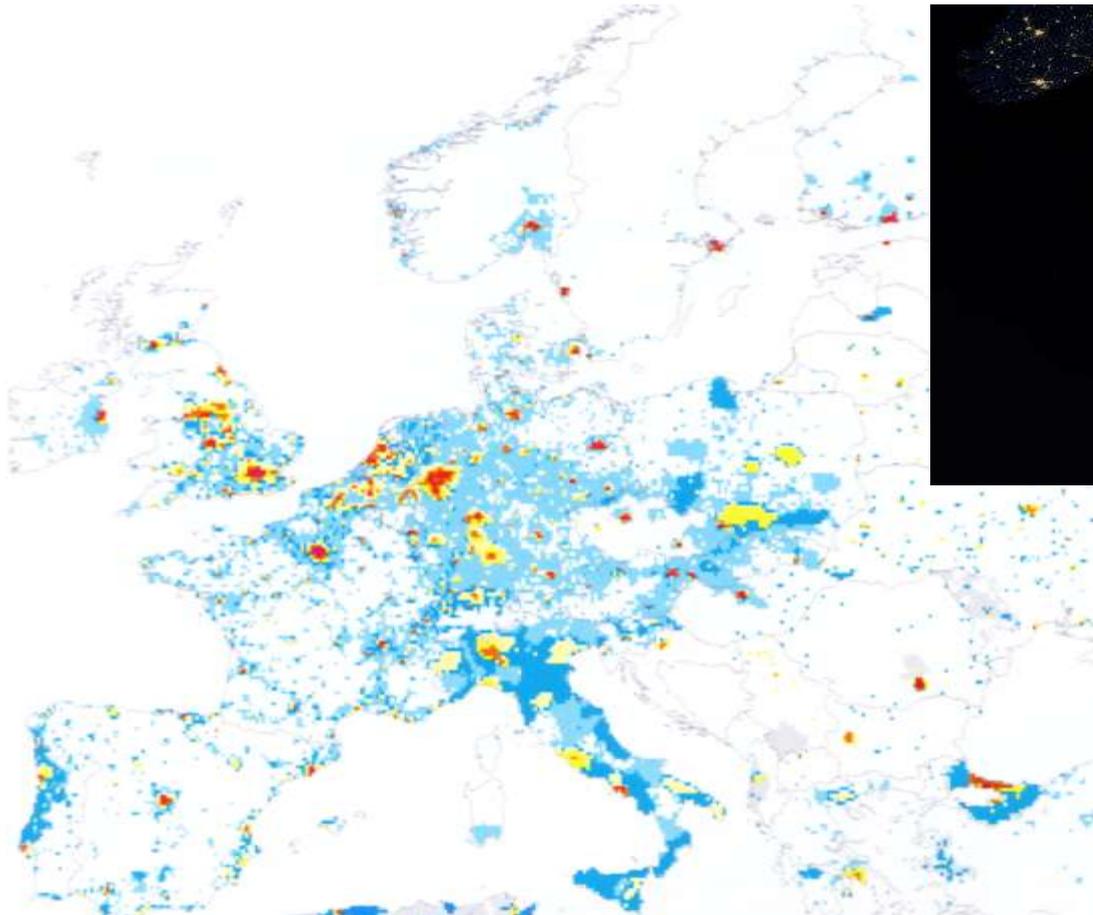
Potentiel solaire à Paris, exprimé en kWh/m².an (Projet POLIS, APUR)



Intensités énergétiques (en W/m²) et taille typiques (en m²) pour la production de différentes sources d'énergie, fossile (gris) et renouvelable (vert) et pour la consommation énergétique de différentes entités (rouge)

Source: GIEC/GEA

Cette dépendance est à appréhender dans une perspective européenne



Densité de la demande énergétique (W/m^2) en Europe : les zones bleues et blanches indiquent les zones où les énergies renouvelables locales peuvent satisfaire la faible densité de demande énergétique (inférieure à 0,5 à 1 W/m^2) ; les zones jaunes, rouges et brunes indiquent les hautes densités énergétiques au-dessus de 1, 5, 10, et 25 W/m^2

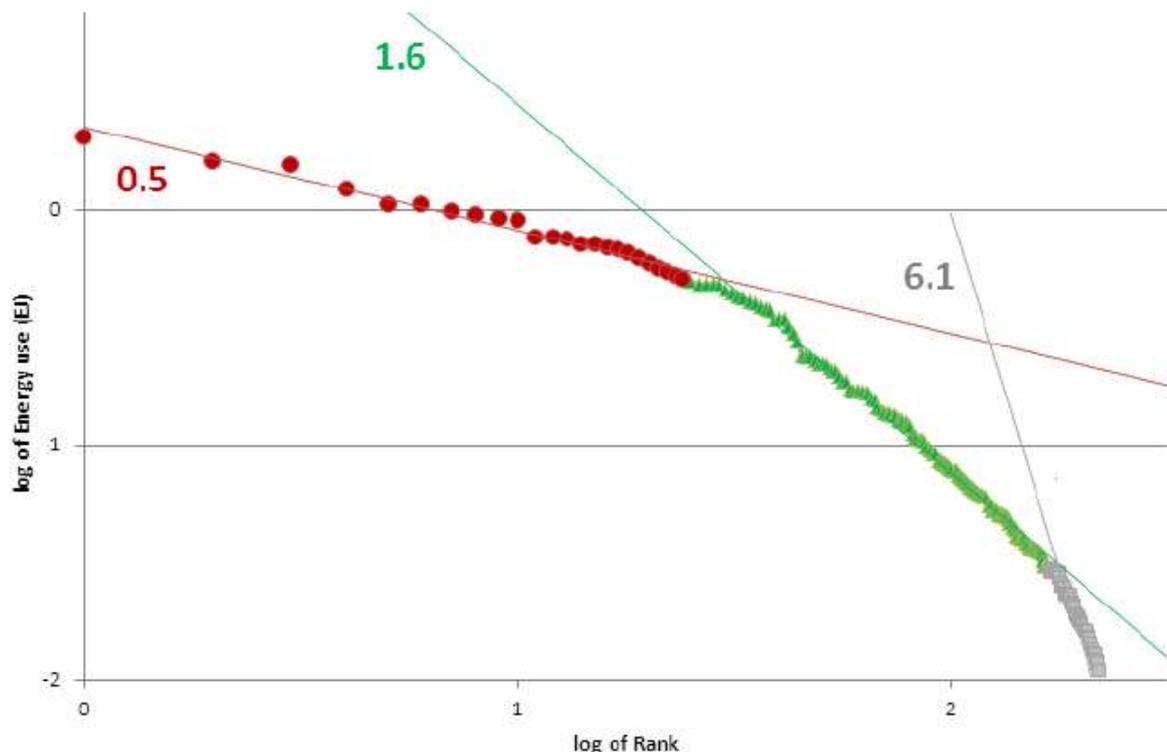
Supralinéarités et infralinéarités

Le « comportement énergétique » est très différent selon la taille des villes

- Les villes consomment 80% de l'énergie et émettent 80% du CO₂
- Les villes consomment certes davantage d'énergie en valeur absolue, mais elles créent en retour relativement beaucoup plus de valeur et de richesses avec la même quantité d'énergie.
- **Les grandes villes ont une plus grande productivité de l'énergie** car elles intègrent rapidement les économies d'échelle et d'agglomération.
- **Les villes moyennes et petites ne bénéficient pas autant des économies d'échelle et d'agglomération** et n'ont pas le même « comportement énergétique » que les grandes villes

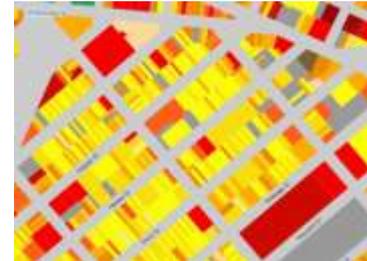
Lorsqu'elles croissent, **les villes moyennes et petites ont une élasticité énergétique jusqu'à 12 fois plus grande que les grandes villes**. Leur consommation énergétique a donc tendance à augmenter beaucoup plus vite qu'elles ne grandissent.

Pour la transition énergétique, les villes moyennes et petites appellent donc une attention particulière et des stratégies différenciées en fonction de leur taille.



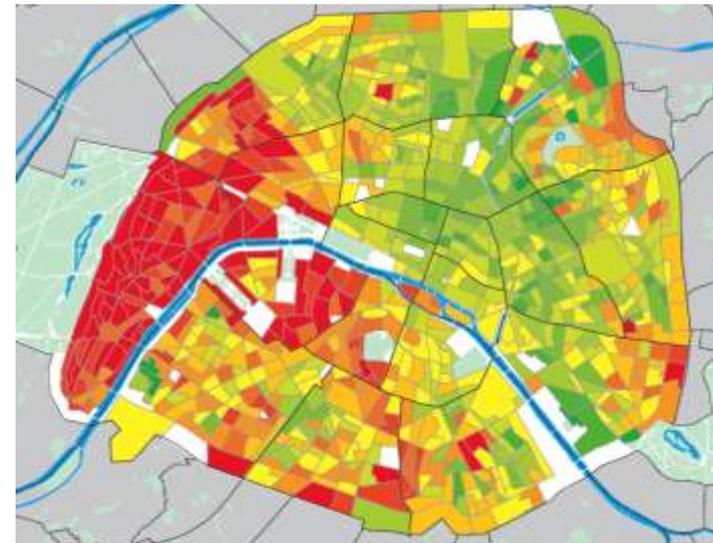
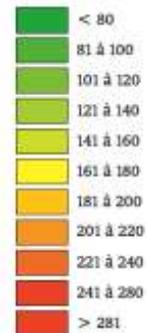
L'hétérogénéité spatiale des territoires

A Manhattan, la consommation énergétique au m^2 ramenée à la parcelle (kWh/m^2) varie d'un facteur 30.



A Tokyo, 18% de l'énergie finale est consommée dans $25km^2$ (4% du territoire)

Consommation énergétique au m^2 à Manhattan ($kWh/m^2.an$)



A Paris intra muros, la densité humaine à l'îlot varie d'un facteur 10,
La consommation énergétique finale de chauffage (à gauche en $kWh/m^2/an$) d'un facteur 4, les émissions de carbone par hab (à droite en $kgC/hab/an$) d'un facteur 9

Les atouts

Un modèle français de ville durable : compacte, connectée, accessible, mixte

- Un grain fin et des réseaux de transport en commun très développés
 - Tous les lieux de Paris intra muros sont à moins de 500 m d'une station de métro.
- Parmi les 50 plus grandes métropoles mondiales
 - Paris est la 2^{ème} ville en termes de CO₂e/PIB
 - Hong Kong : 102 ktCO₂e/US\$bn
 - **Paris : 112 ktCO₂e/US\$bn**
 - Londres : 162 ktCO₂e/US\$bn
 - Berlin : 516 ktCO₂e/US\$bn
 - Paris est la 4^{ème} ville en CO₂/cap (des pays développés)
 - Hong Kong : 3.4 tCO₂e/cap
 - Seoul : 4.1 tCO₂e/cap
 - Tokyo : 4.9 tCO₂e/cap
 - **Paris : 5.2 tCO₂e/cap (moyenne France 12.2 tCO₂e/cap en approche empreinte)**
 - Londres : 9.6 tCO₂e/cap
 - Berlin : 11.6 tCO₂e/cap

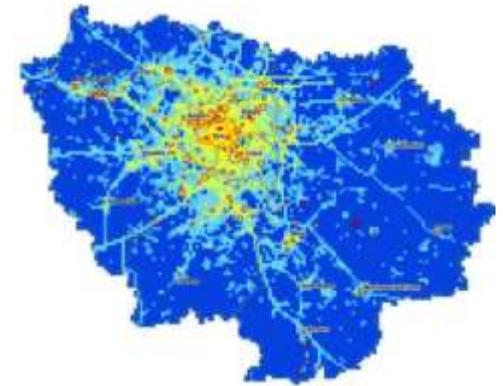


Divergence entre pôles urbains et zones métropolitaines

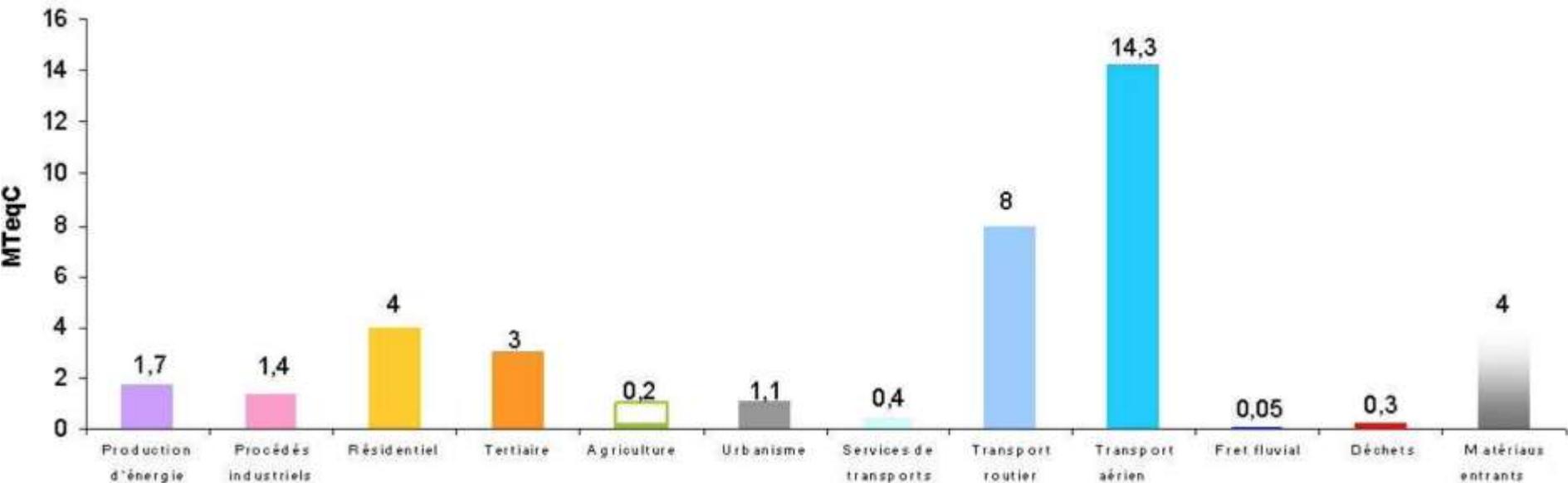
Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre de la région d'Île-de-France sont estimées à plus de **38 millions de tonnes équivalent carbone**, soit 11.6 tCO₂e/cap

Le **secteur des transports (près de 23 M TeqC)** se place très largement en tête - avec **plus de 59 %** - du bilan carbone global.

Les émissions de GES directement émises en Île-de-France représentent un total de près de 19 millions de TeqC soit 48 % du bilan global.



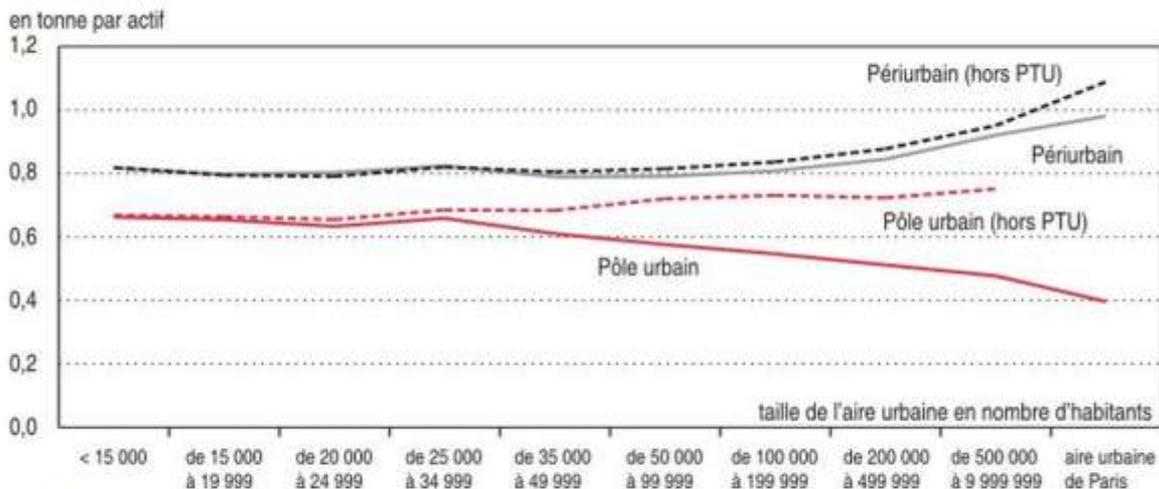
Emissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la région d'Île-de-France
(en millions de Tonne équivalent Carbone)



Pour les transports, une forte divergence énergétique entre les pôles urbains et le périurbain et de fortes disparités régionales

En 2007, les personnes résidant en France ont émis en moyenne 640 kg de CO₂ pour se rendre sur leur lieu de travail ou d'études. La voiture est responsable de 90 % de ces émissions, pour 64% des déplacements effectués et 70 % des distances parcourues.

Émissions de CO₂ par actif selon le type urbain de résidence et le PTU*

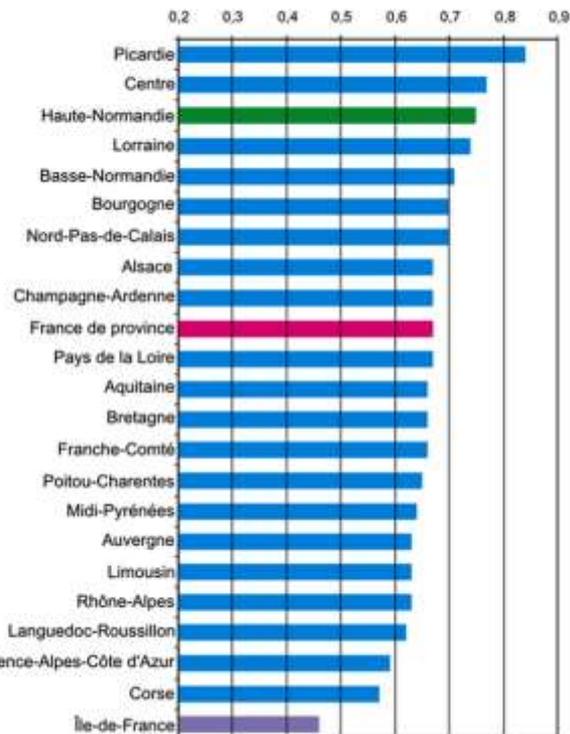


* périmètre de transports urbains (PTU).

Lecture : dans les aires urbaines de 50 000 à 99 999 habitants, un actif résidant dans un pôle urbain émet 0,6 tonne de CO₂ pour aller travailler s'il réside dans une commune couverte par le PTU ; il émet 0,7 tonne s'il réside en dehors du PTU.

Sources : Insee, Kit CO₂ d'après le recensement de la population 2007 ; SOeS, fichier central des automobiles 2007.

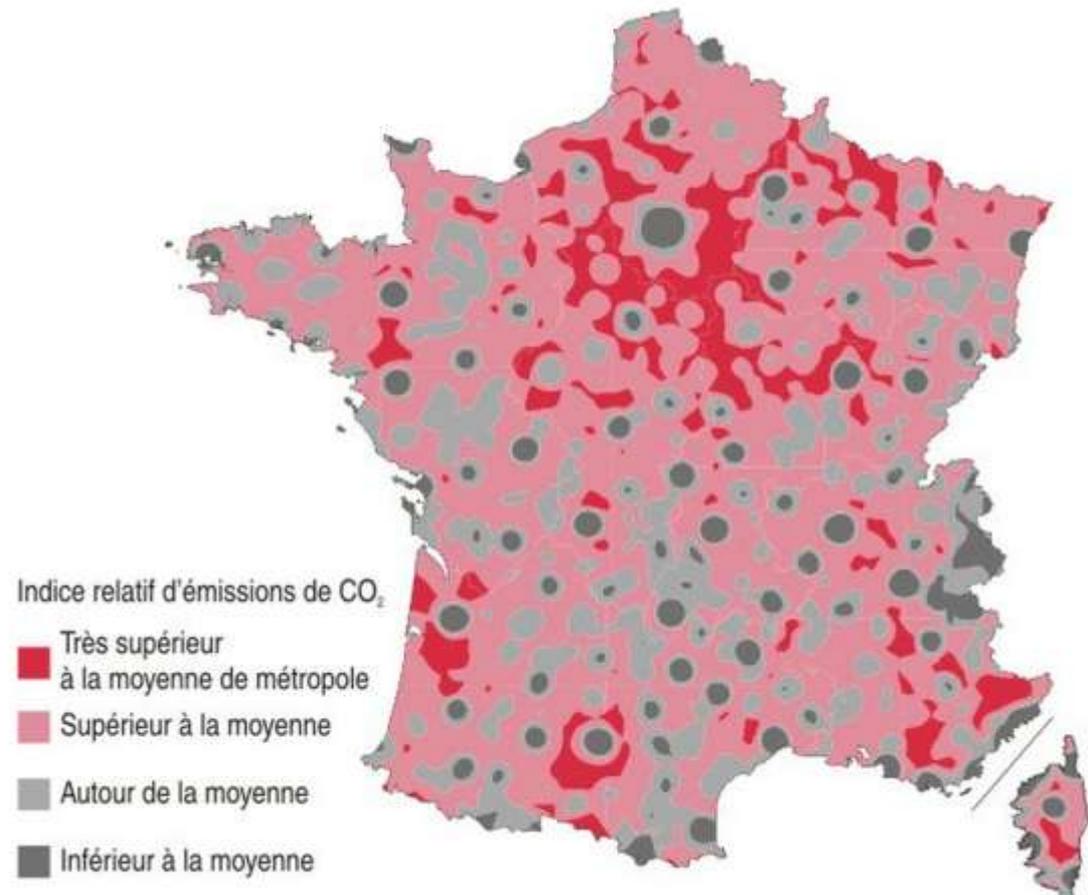
Émissions de CO₂ par actif en emploi ou étudiant selon la région de résidence (en tonnes)



Source : Insee, RP 2007 - SOeS - Certu

L'étalement urbain et ses conséquences énergétiques

Un habitant de pôle urbain en France émet deux fois moins de CO₂ que la moyenne pour se rendre à son lieu de travail ou d'études (INSEE)

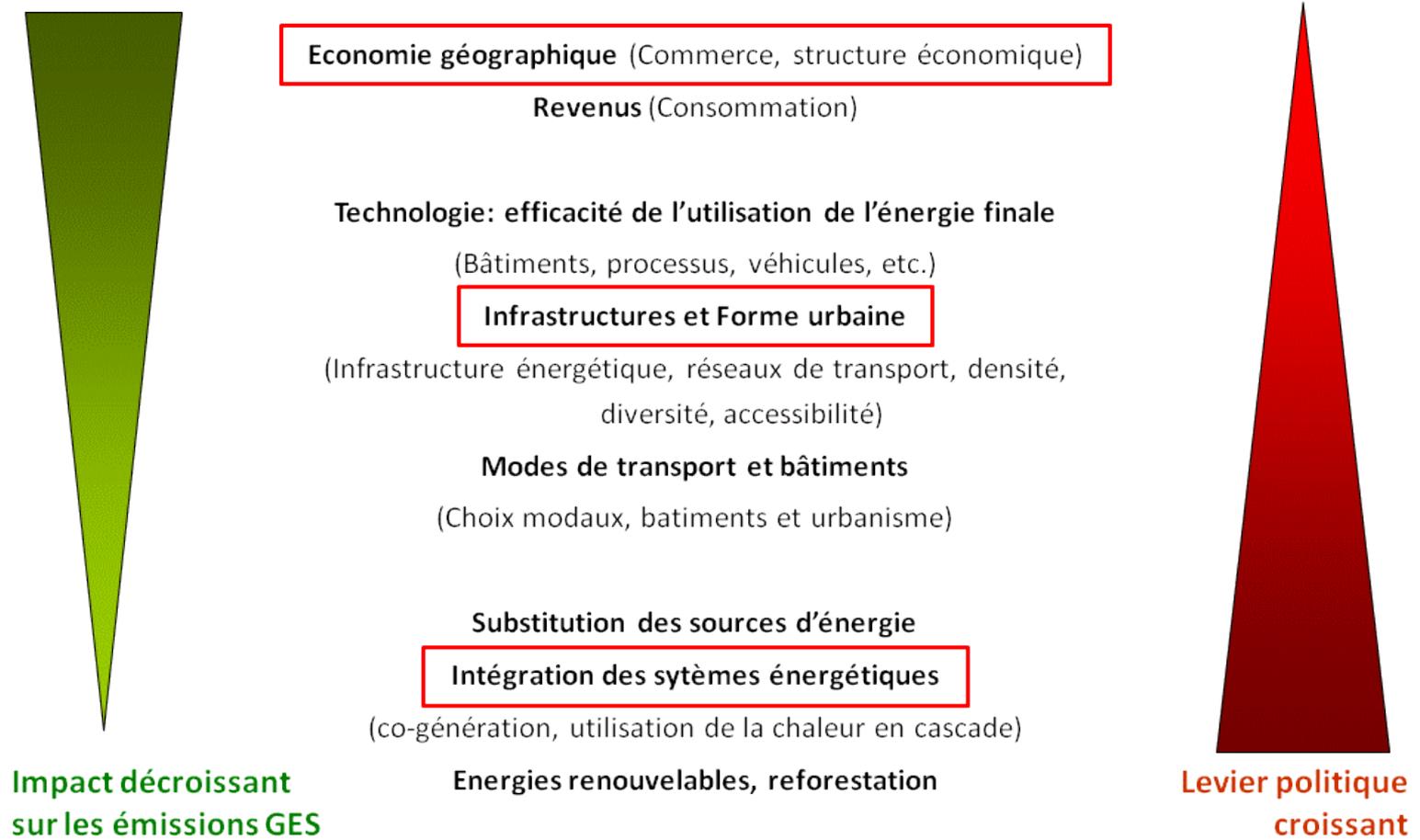


Sources : Insee, Kit CO₂ d'après le recensement de la population 2007 ; SOeS, fichier central des automobiles 2007.

Émissions de CO₂ par
personne

Les leviers systémiques d'action sur les territoires

Économie géographique, infrastructures et forme urbaine, intégration des systèmes sont les leviers systémiques les plus puissants



Les leviers morphologiques et systémiques pour agir sur la demande énergétique des territoires et développer les circuits courts réseaux de chaleur, accès aux services, approvisionnements)

4 Mixité

Pour lisser les pics de consommation et déployer les smart grids et synergy grids

5 Accessibilité

Mieux distribuer les transports en commun et les aménités urbaines

3 Compacité

Rendre les différentes parties de la ville accessibles les unes aux autres

6 Hiérarchie et structure des maille viaires

Pour encourager les transports doux et garantir la continuité de l'espace public

2 Articuler la densité

Avec des pics de densité autour des hubs de transport en commun

Intégration de la planification spatiale et de la planification énergétique

7 Accessibilité et structure des réseaux de transport public

Pour encourager les transferts modaux vers les transports publics

1 Densité moyenne

Pour diminuer l'énergie et les coûts d'infrastructure par capita

8 Planification énergétique

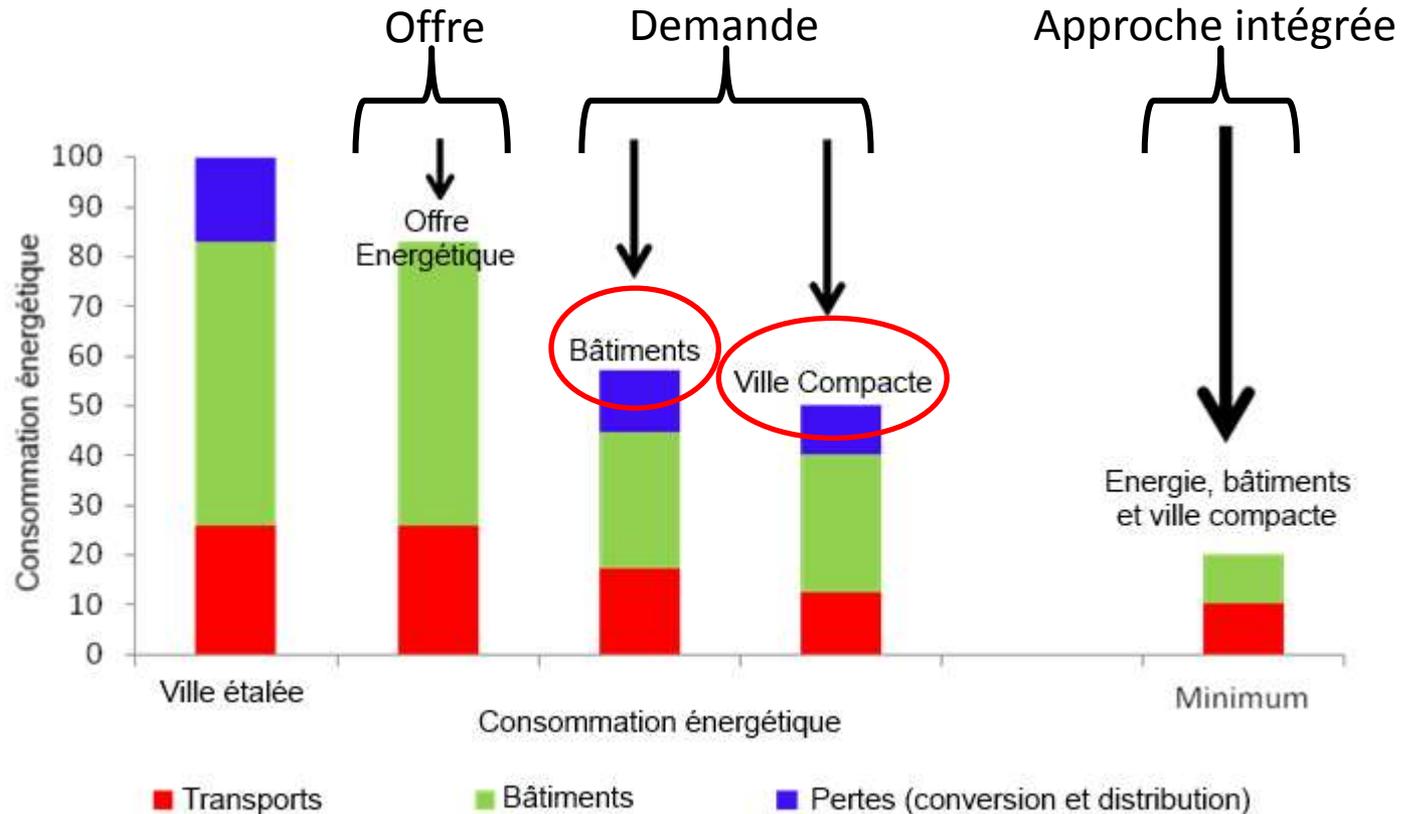
Pour déployer des stratégies énergétiques à « basse exergie »

9 Rénovation thermique

Rénover en priorité le bâti indépendant, davantage énergivore

Les ordres de grandeur des leviers

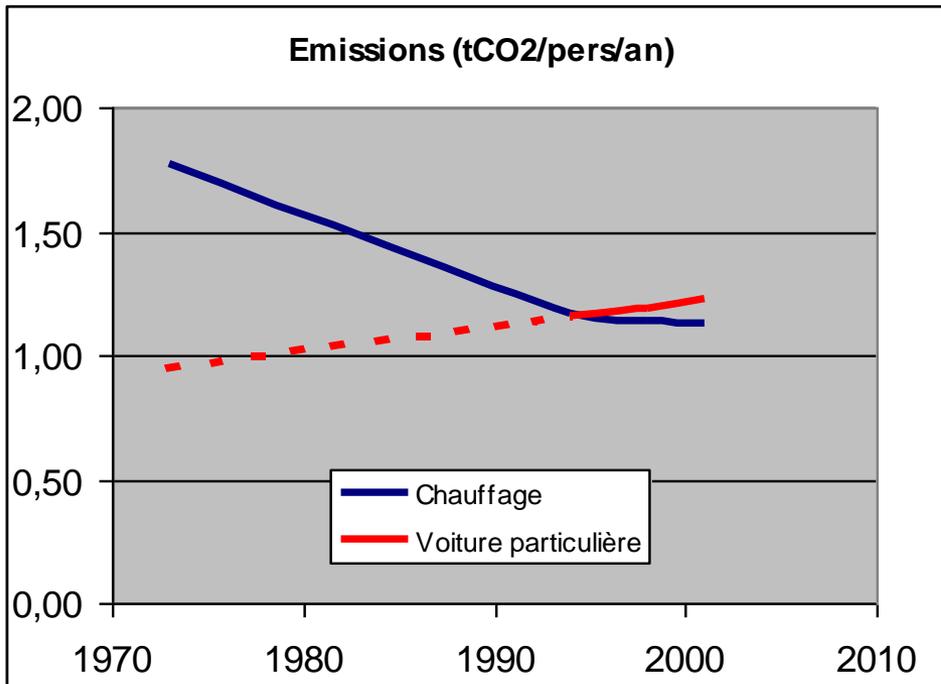
Les actions sur la demande permettent de diviser par 4 l'énergie pour le bâtiment et les transports



Les actions sur l'offre permettent uniquement de diminuer de 20% la consommation énergétique

Bâtiment, transports et transition énergétique: des questions liées

Deux modèles (centralisé et décentralisé) : performance constructive versus localisation, énergies renouvelables locales versus énergie de transport

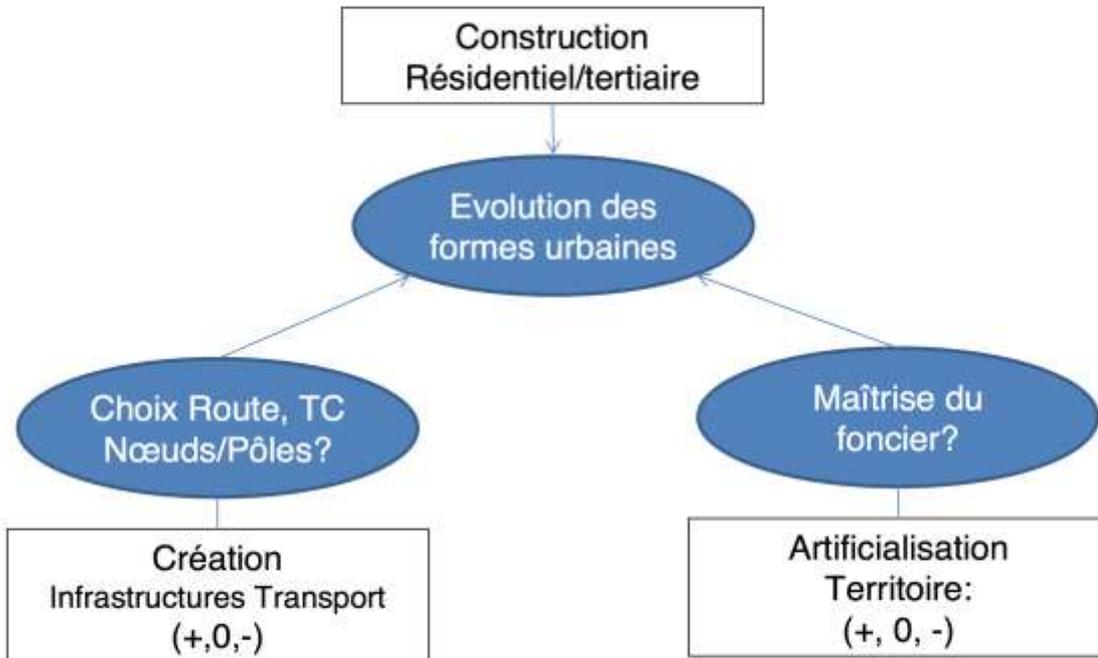


La suburbanisation française s'est traduite par une hausse des consommations énergétiques de transport qui a en partie annulé les efforts faits sur la thermique bâtiment

- **Des densités de l'ordre de 15 000 hab/km²** (Séoul, Tokyo) ou 20 000 (Paris intra muros, Manhattan) diminuent fortement les taux de motorisation et l'énergie de transport et permettent la mise en oeuvre de dispositifs de cogénération et de circuits courts énergétiques (cascades de chaleur, synergies). Elles entraînent cependant des densités énergétiques locales élevées qui limitent fortement les possibilités de recours aux énergies renouvelables locales.
- **De faibles densités résidentielles** permettent de déployer plus d'énergies locales mais accroissent considérablement l'énergie de transport et s'accompagnent de formes urbaines et bâtiment inefficientes.

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

1 – La densité doit être appréhendée selon une dynamique multipolaire et à différentes échelles (distribution multifractale, hiérarchie, entropie)



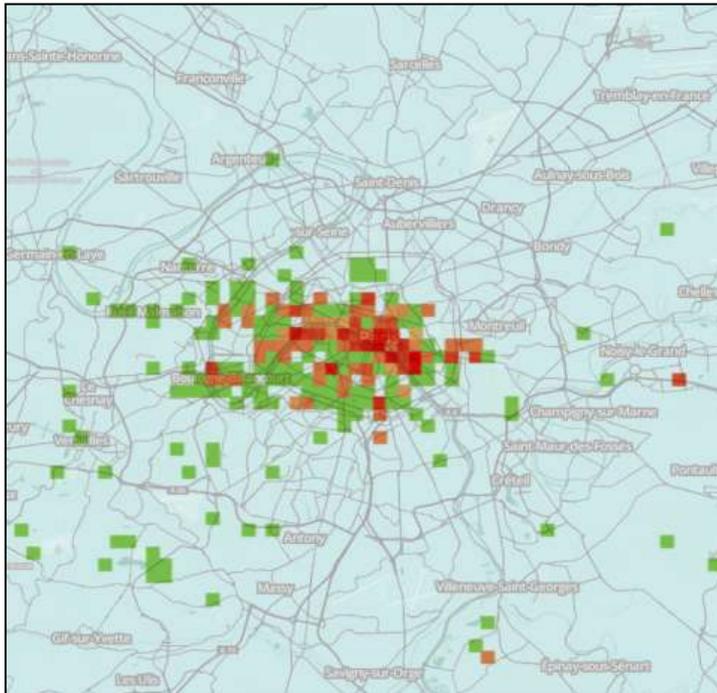
Formes urbaines: distribution multi fractale de la densité démographique et construite, des systèmes de villes jusqu'aux échelles intra urbaines

Réseaux d'infrastructures: caractérisés par des densités linéaires, des densités de nœuds, des structures de graphes, des niveaux de centralité

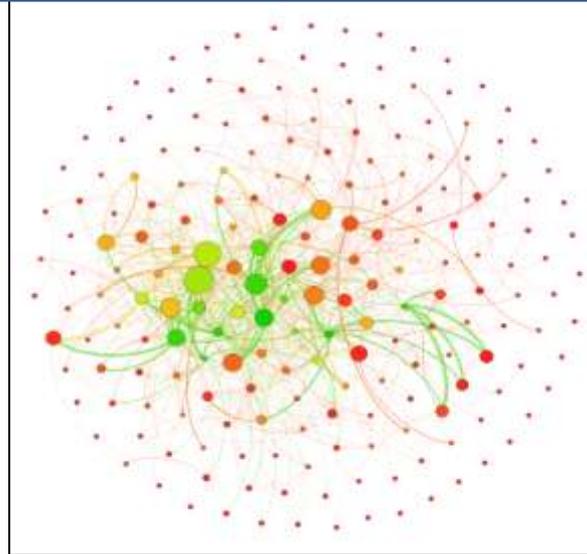
Foncier: Caractérisé par des densités parcellaires, par des distributions de prix

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

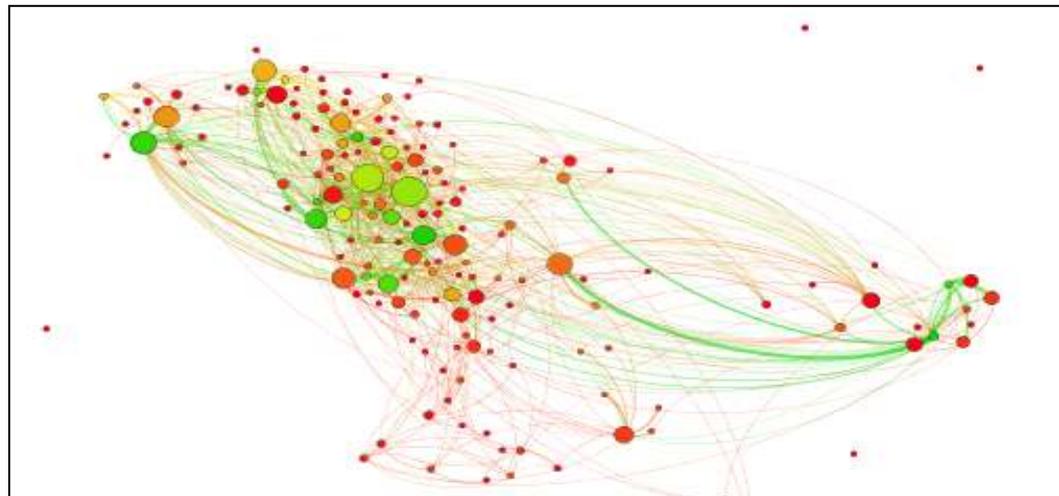
1 – La notion de densité doit être complétée par d'autres indicateurs de structure qui précisent la forme de la densité et l'organisation des liens entre les acteurs.



Exemple: entropie (diversité) des acteurs du numérique en Ile de France



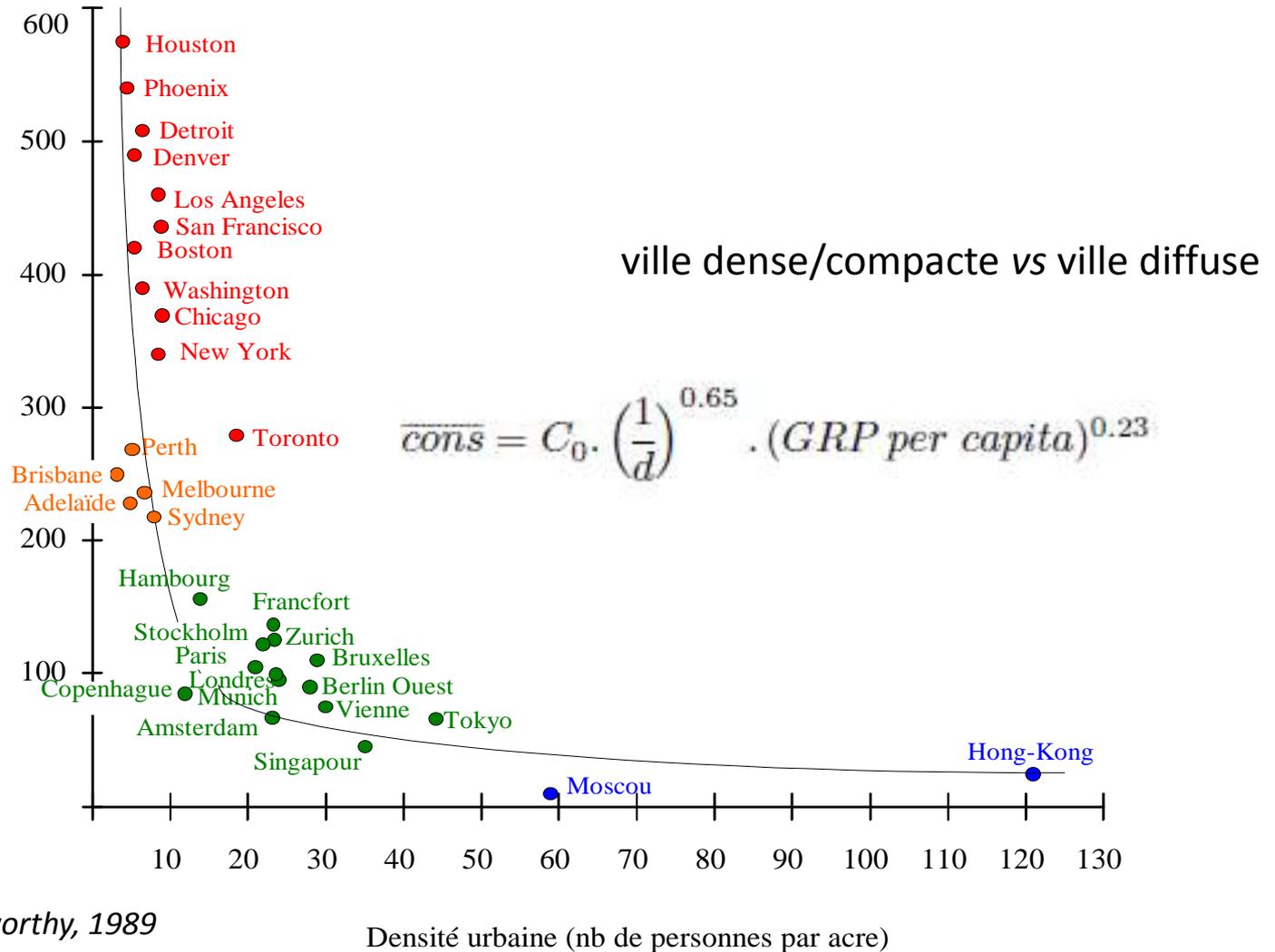
Structure de réseaux d'acteurs territoriaux ou de réseaux d'infrastructures (routes, métros. Tant pour les composants physiques que pour les acteurs économiques d'un territoire la théorie des graphes permet d'examiner dans un cadre unifié les liens, leur organisation et leurs centralités



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

1 – Introduction internationale du débat urbanisme (appréhendé par la densité) et dépendance automobile

Consommation annuelle de carburant par personne (gallons, 1980)

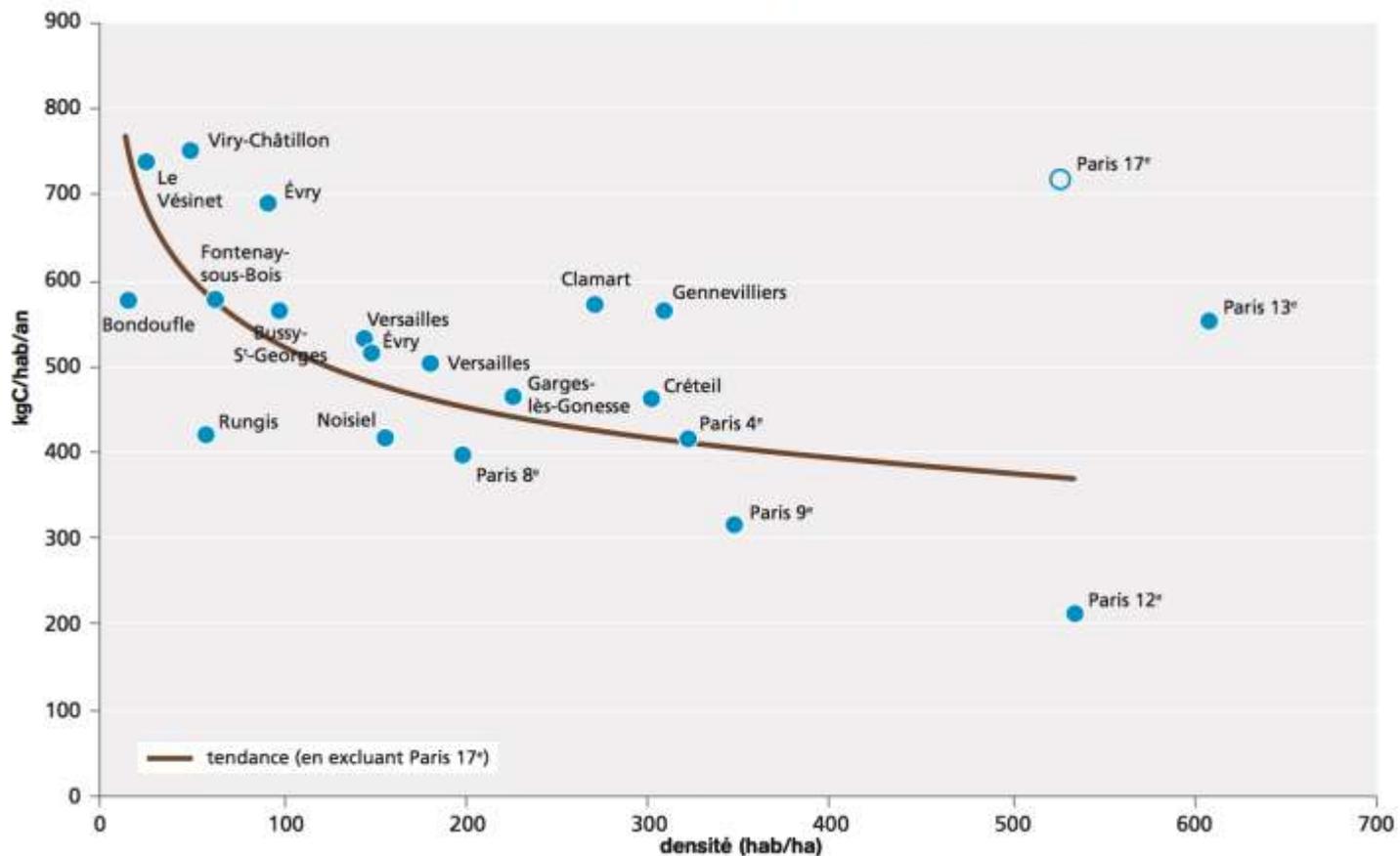


Données : Newmann et Kenworthy, 1989

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

1 – Au delà du transport la densité a un impact général sur les consommations et les émissions

Émissions de carbone d'un actif selon la densité du lieu de résidence



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

1 – Densité moyenne et coûts d'infrastructures

Les coûts d'infrastructure par habitant pour la collectivité sont jusqu'à 4 fois plus élevés dans les zones à faible densité

**Entre Paris intra muros (20 000 hab/km²)
et la banlieue (5 000 hab/km²)**

Cout du réseau viaire par habitant : + 300%

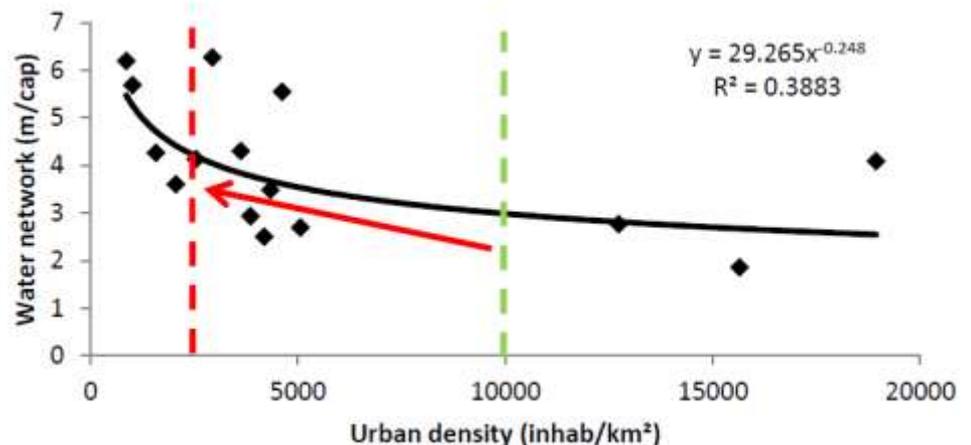
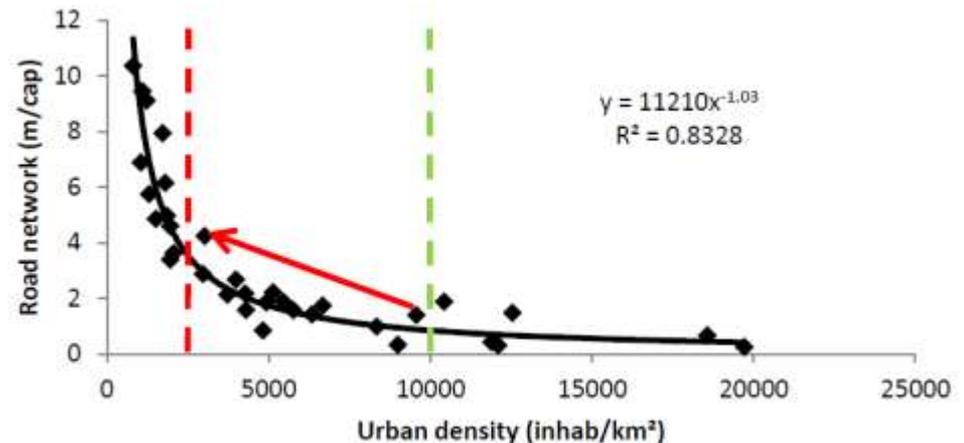
Cout du réseau d'eau par habitant : + 40%

Cout du réseau d'assainissement par habitant : + 200%

Consommation énergétique de transport par habitant : + 150%

Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :

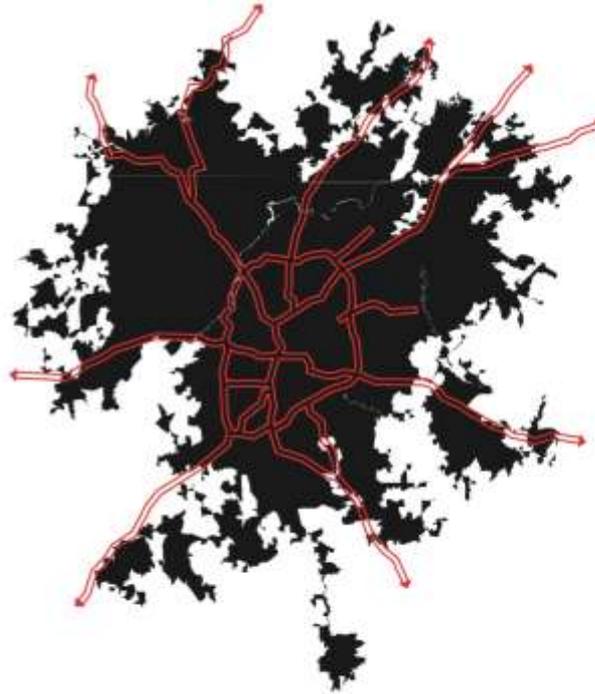
Initier et encourager des concentrations et des densités plus fortes au sein des territoires



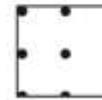
Coûts d'infrastructures par habitant en fonction de la densité (routes et eau)

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

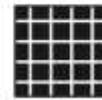
1 – Densité moyenne et coûts d'infrastructures



ATLANTA
pop 3 499 840 area 511 952 ha



6.8 pop/ha

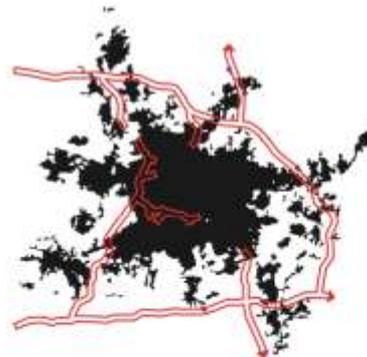


8.7 m/pers

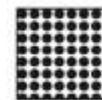


95%

Scale



B E R L I N
pop 3 920 547 area 99 650 ha



39.3 pop/ha



1.5 m/pers



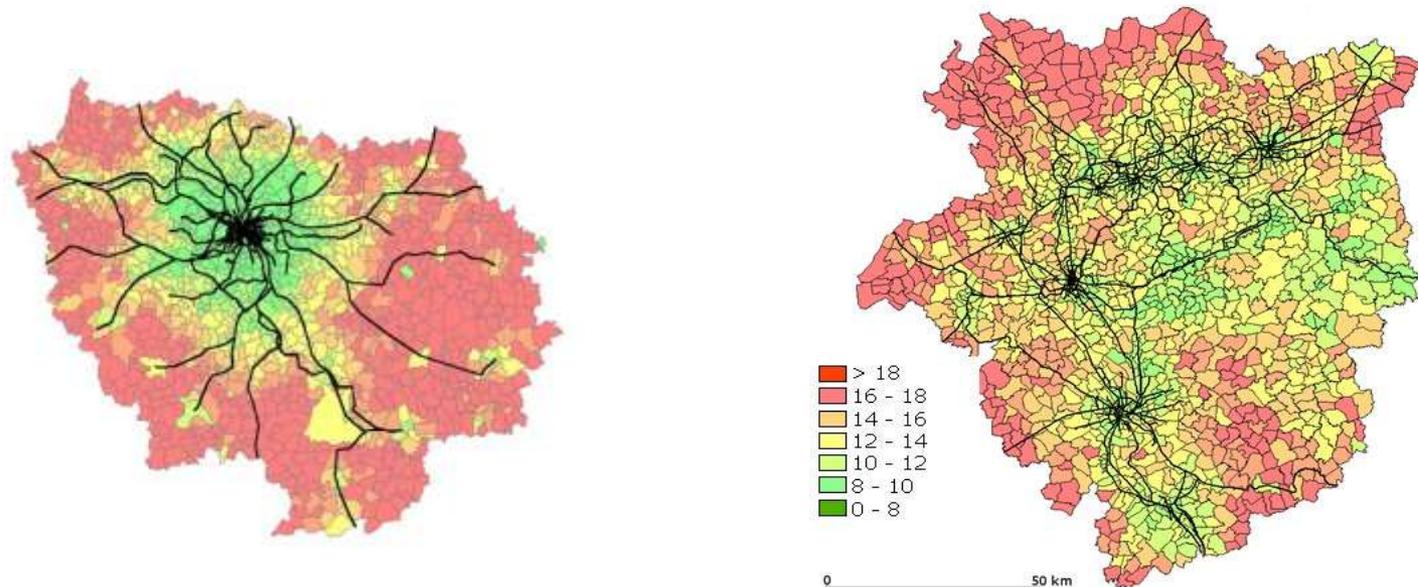
44%

Scale



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – L'organisation spatiale de la densité est plus importante que sa valeur moyenne

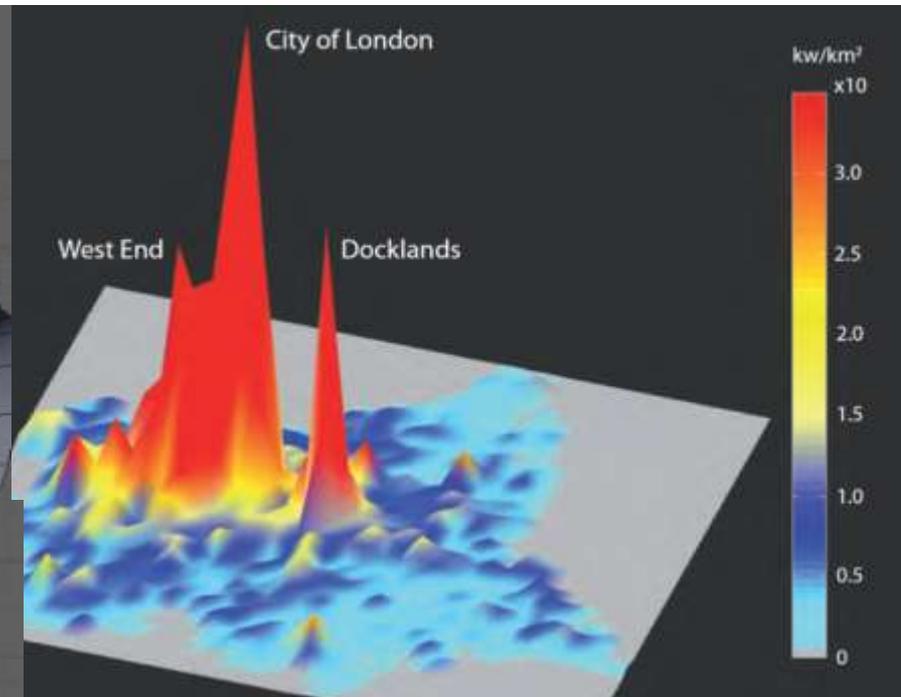
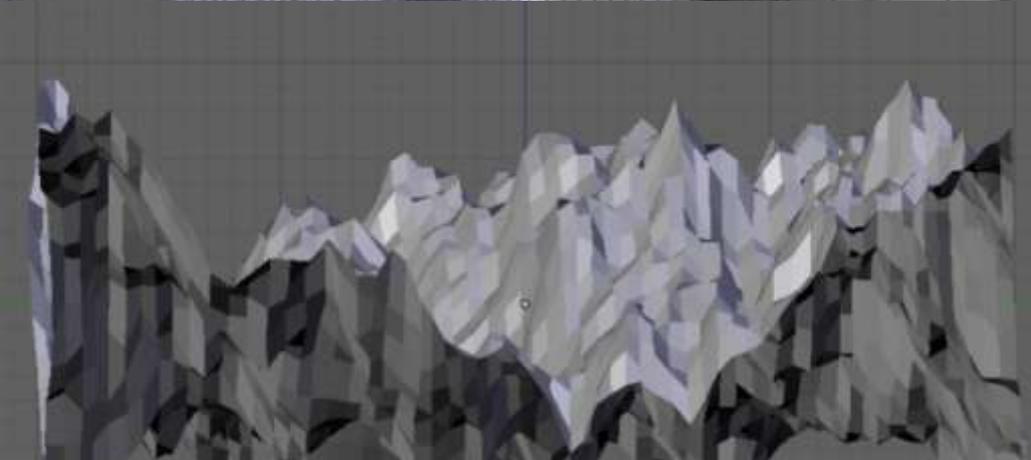
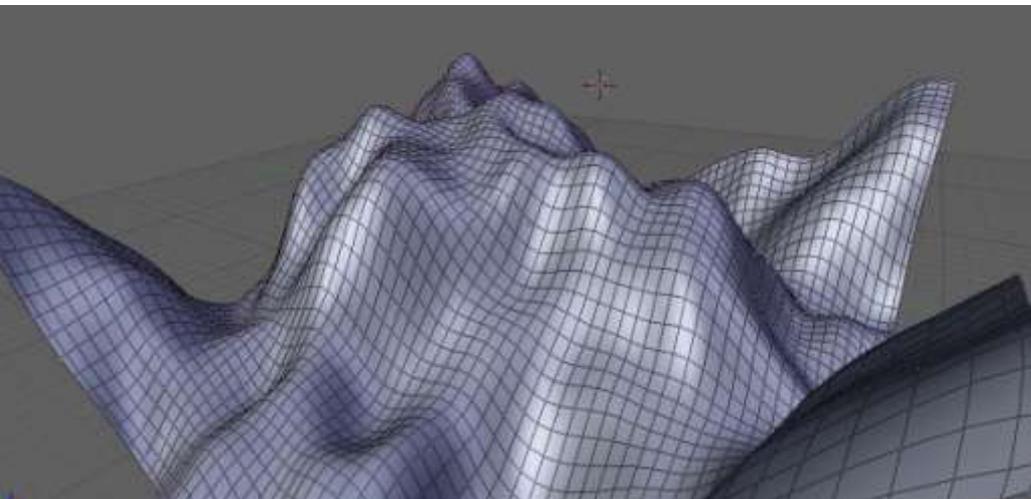


- L'impact énergétique du monocentrisme ou du polycentrisme de l'organisation des territoires
- Distance moyenne parcourue par habitant et par jour en km-équivalent automobile dans l'Île de France et dans la région Rhin Ruhr. Dans les zones rouges, la part modale de la voiture est très élevée

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – La distribution de la densité démographique, économique, énergétique est une distribution multifractale

Les densités démographiques ainsi que les distributions spatiales d'un grand nombre de variables économiques et énergétiques urbaines constituent un « paysage multifractal » plus ou moins accidenté.



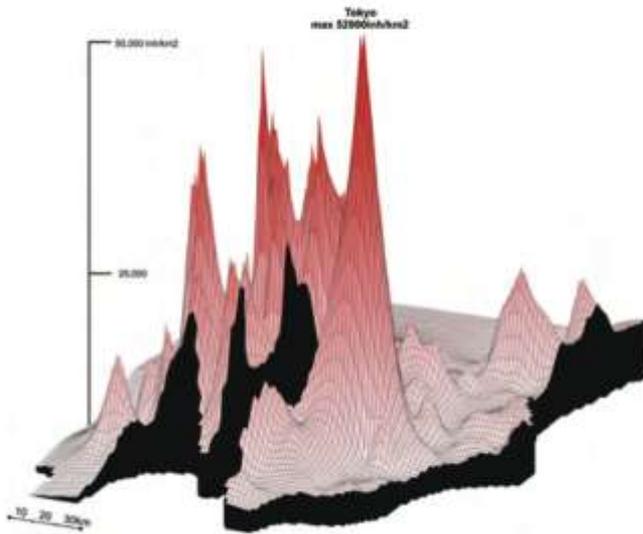
La demande d'électricité à Londres.

La City de Londres contribue sur seulement 1 square mile (2,56 km^2 , c'est à dire 2,5% de Paris intra-muros) à 12 % du PIB de Londres et 8,5 % du PIB de la Grande Bretagne.

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – La distribution de la densité démographique, économique, énergétique (une distribution fractale)

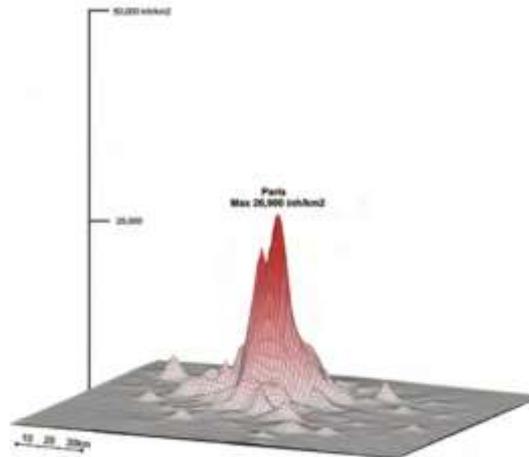
Le caractère plus ou moins hiérarchisé de la distribution des densités influence la performance énergétique et les émissions des territoires.



Tokyo

4.9 tCO₂e/cap

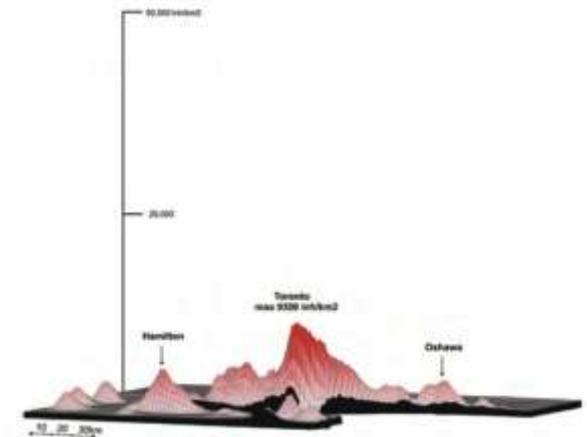
146 ktCO₂e/US\$bn



Paris

5.2 tCO₂e/cap

112 ktCO₂e/US\$bn



Toronto

11.6 tCO₂e/cap

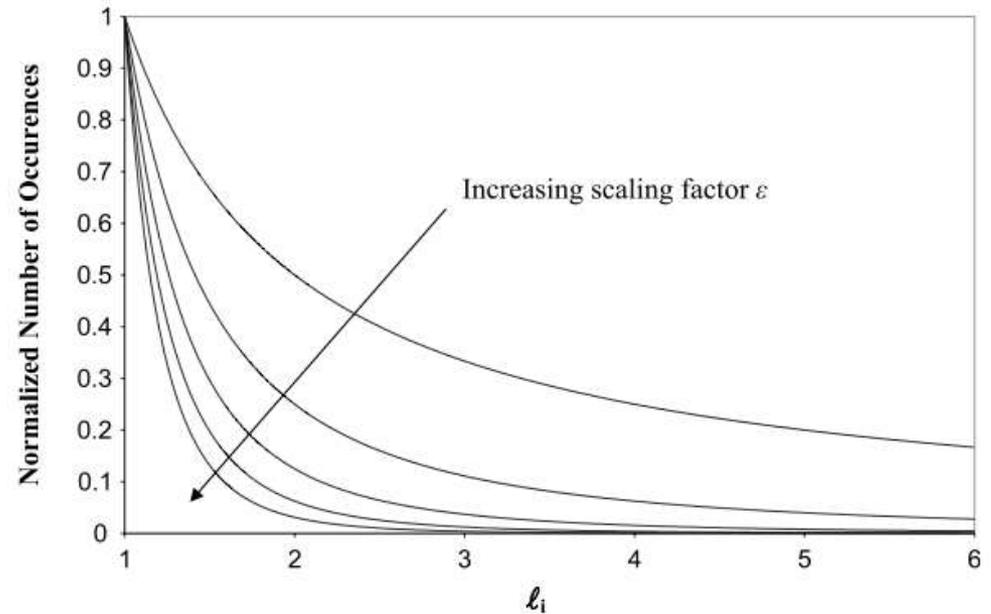
286 ktCO₂e/US\$bn

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – La hiérarchie fractale des structures urbaines

La fractalité (la plus ou moins grande rugosité) des distributions urbaines se traduit par une distribution des densités (démographiques, économiques, énergétiques) en loi de puissance inverse (distribution de Pareto).

L'exposant de la loi de Pareto est le coefficient de hiérarchisation.



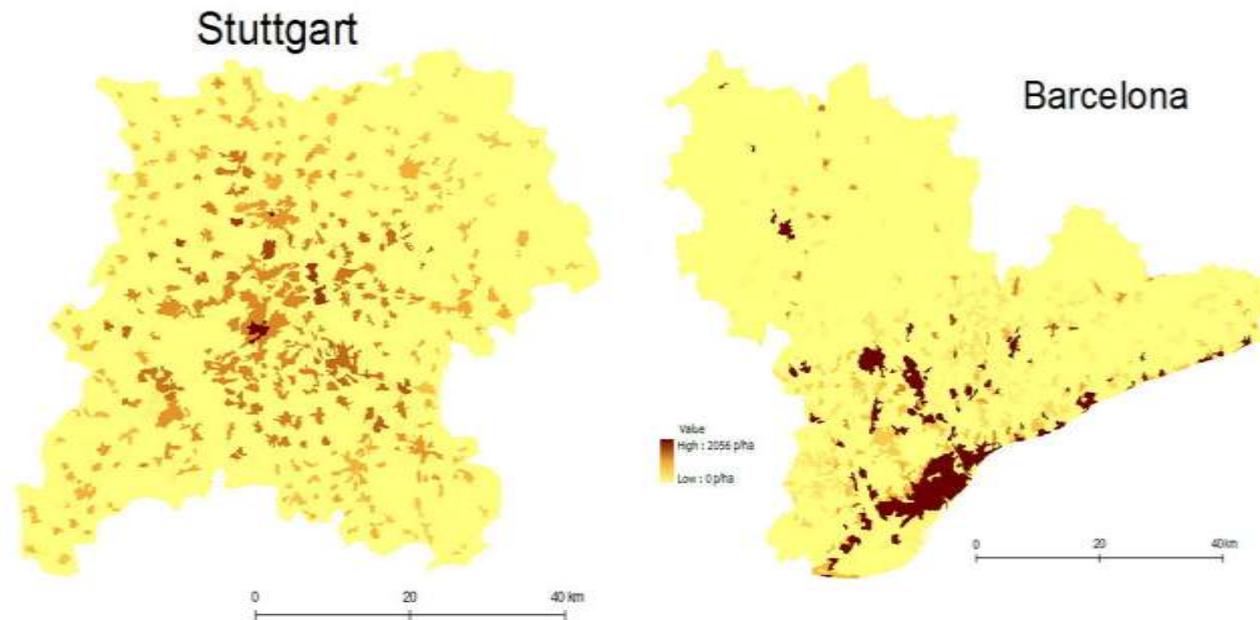
Relationship between scaling factor ε and normalized frequency distribution.

$$freq_i = \frac{A}{l_i}$$

Résultat classique en économie géographique qui peut être étendu aux échelles intra urbaines

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – La hiérarchie fractale des structures urbaines



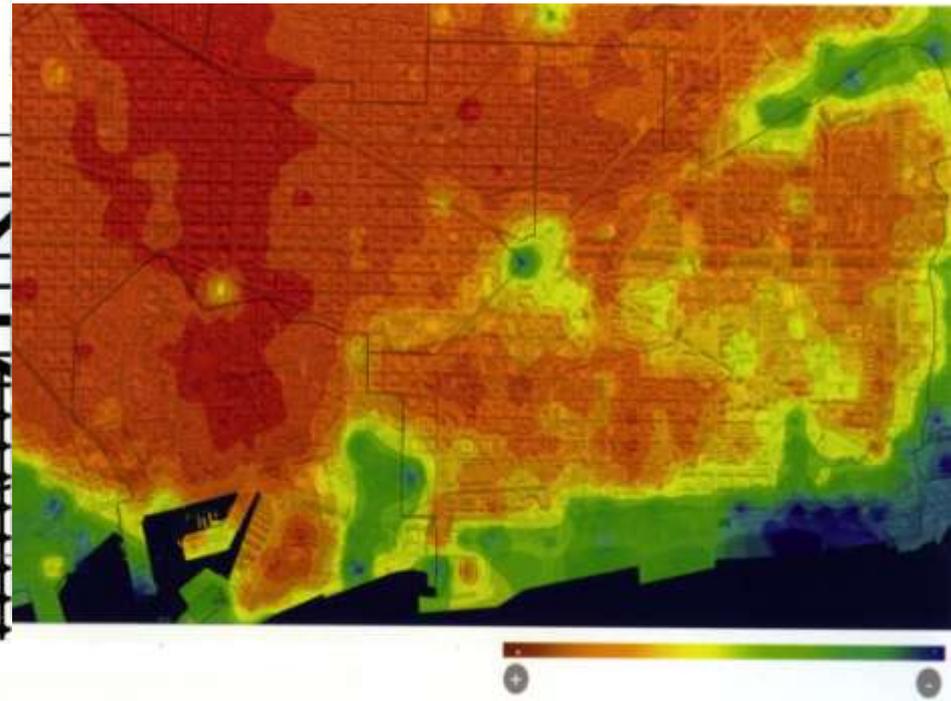
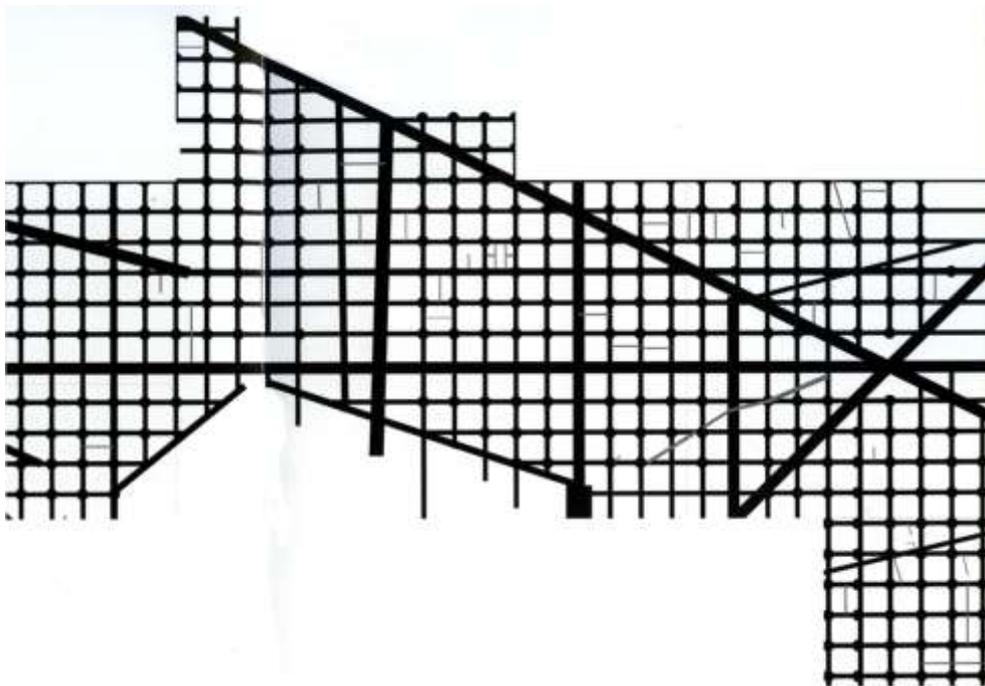
Un exemple de structure spatiale urbaine faiblement hiérarchisée (Stuttgart) et de structure urbaine très hiérarchisée (Barcelone) selon une loi rang-taille de la distribution de la densité démographique

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – L'entropie des structures urbaines

L'entropie est une mesure de diversité ou d'homogénéité au sein d'une structure

Barcelone: un exemple de diversification et concentration économique dans une maille urbaine homogène



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 - Hiérarchie et entropie de la distribution de la densité (c'est-à-dire la plus ou moins grande structuration humaine et économique des territoires) jouent en sens opposé pour déterminer la consommation énergétique de transport

$$\text{Energie} = C_0 \text{ PIB}^{0.35} \text{ dens}^{-0.14} \text{ hier}^{-0.52} \text{ entrop}^{0.86}$$

Etude originale menée sur 34 villes européennes

4 facteurs clés jouent sur l'énergie de transport par habitant:

- **Le PIB par habitant** (élasticité 0,35)
- **La densité moyenne** du territoire (élasticité -0,14)
- **L'entropie** de la distribution de la densité, qui correspond au degré d'homogénéité de la densité dans le territoire (**élasticité 0,86**). Plus une distribution spatiale urbaine s'approche de l'urbanisation diffuse, plus la consommation d'énergie est importante
- **La hiérarchie** de la distribution de la densité dans le territoire, exprimée par l'exposant d'une loi rang taille (**élasticité -0,52**). Une valeur faible de cet indicateur indique une distribution a-hiérarchique. Au contraire, plus cet exposant est élevé, plus l'ordre complexe intra-urbain est hiérarchisé : un petit nombre de cellules concentre une grande partie de la population.

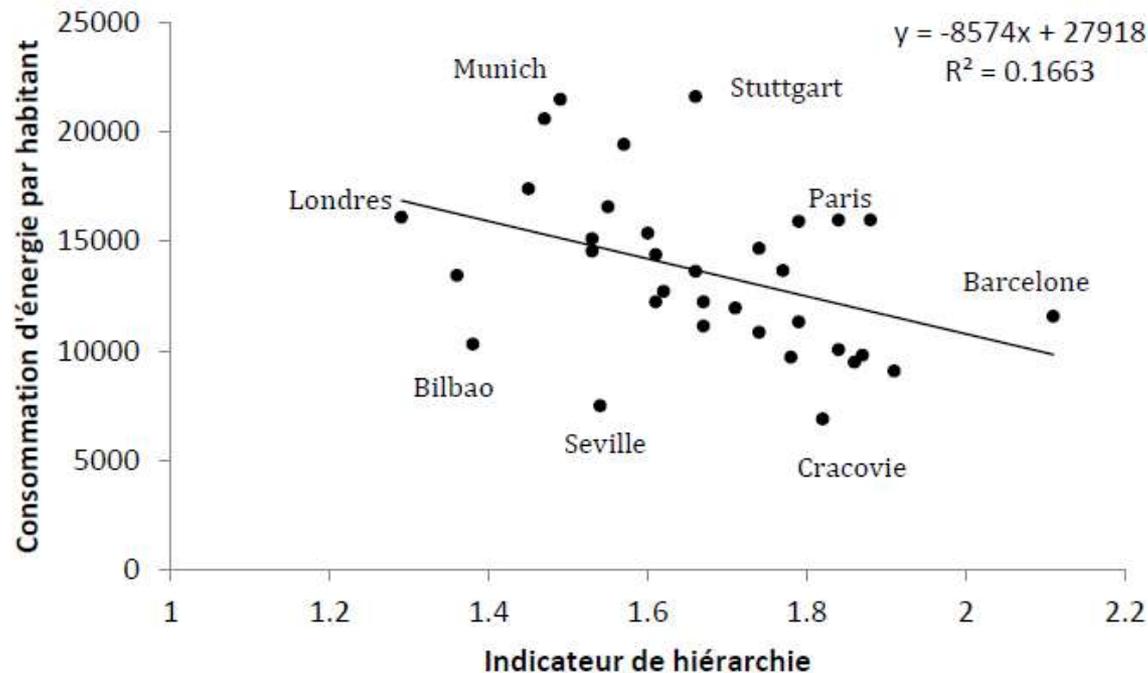
$$\text{Entropie} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{p_i}{P_N} \log \left(\frac{p_i}{P_N} \right)}{\log N}$$

$$p_k = P_0 k^{-\alpha}$$

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – Articuler la densité

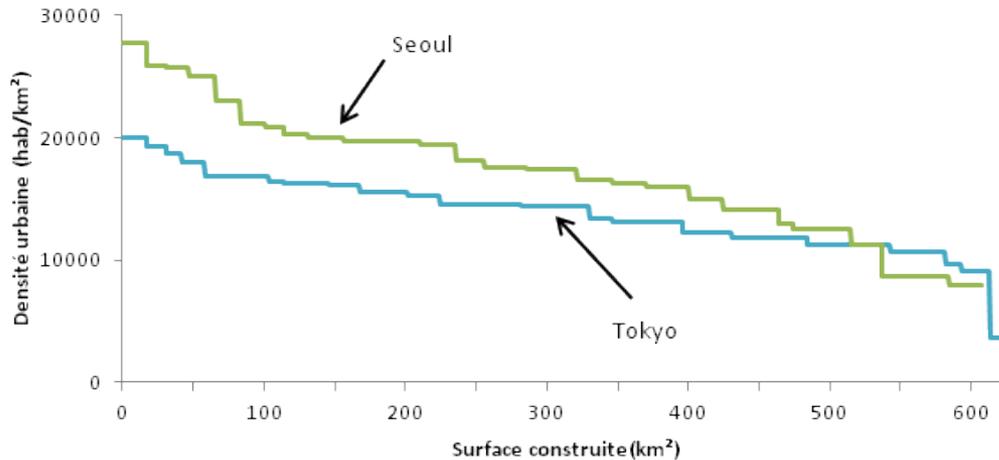
Plus encore que la densité moyenne, la hiérarchisation de la densité au sein des territoires est essentielle. Elle a une élasticité plus forte vis-à-vis des distances moyennes parcourues et de l'énergie de transport consommée par habitant.



Plus la densité est hiérarchisée au sein des territoires, moins la consommation d'énergie par habitant est élevée

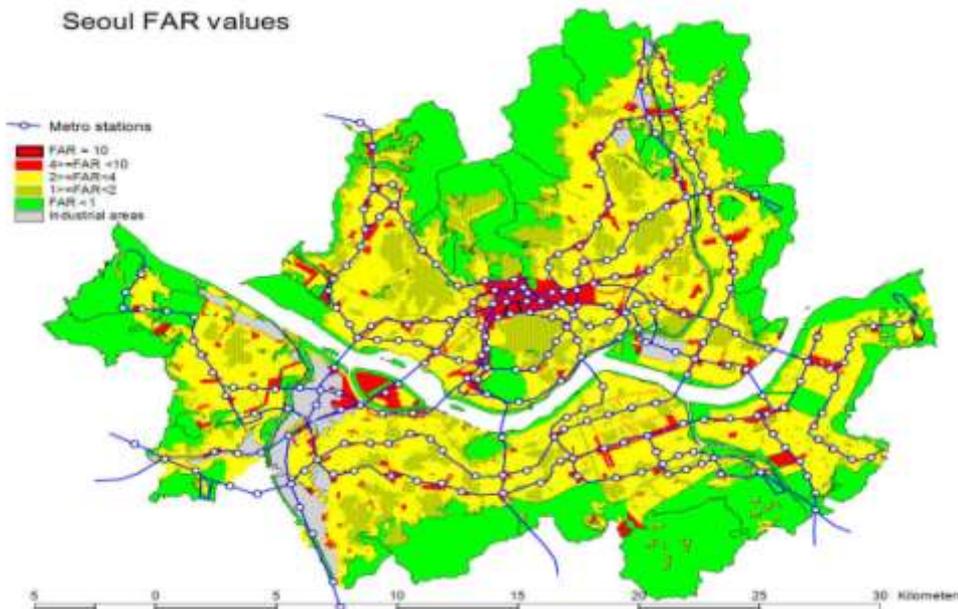
Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

2 – Densifier autour des hubs de transport public



Séoul et Tokyo (23 Wards) concentrent 10 millions d'habitants sur une surface de 600 km² (pour mémoire Ile de France 11,9 millions d'habitants sur 12 000 km²), avec une densité de l'ordre de 15 000 hab/km² articulée le long et autour des hubs du transport en commun des 2 métros les plus longs du monde (Tokyo métro + rail régional 3500 km, 2000 stations, 48 opérateurs) , et organisée par une maille viaire très fine avec à Tokyo un tissu urbain majoritairement constitué de petites maisons .

Seoul FAR values



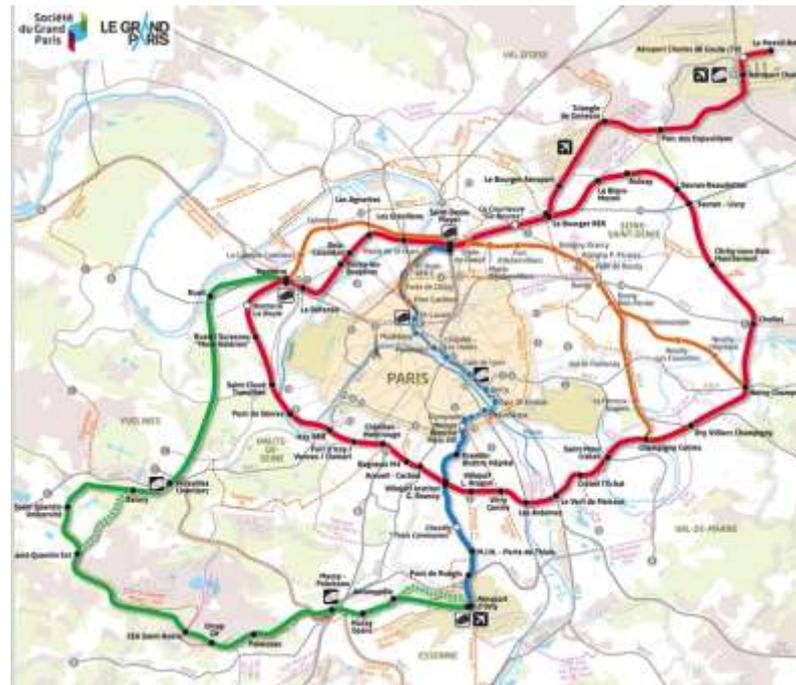
Les zones jaunes de Séoul correspondent au COS de Paris intra muros, les zones jaune-vert à la moitié de ce COS

Application

Quelles centralités du nouveau réseau du Grand Paris et quelle stratégie intégrée pour les nouvelles gares ?

Contexte et enjeux :

- Grand Paris Express, 205 km de nouvelles lignes de métros et 72 nouvelles gares
- 5,3 milliards d'euros d'investissements pour le 1^{er} tronçon
- Reconfiguration majeure du réseau de transport et des territoires franciliens
- Opportunité unique pour le développement des territoires, la création de valeur et l'inclusion sociale autour des nouvelles gares



Application

Quelle stratégie intégrée pour les nouvelles gares du grand Paris ?

Connecter : structurer le réseau de transport à moyenne portée et intensifier la maille viaire

L'un des points clé de l'inter-modalité est de fournir autour des nœuds de transport en commun un environnement urbain adapté : une maille viaire dense et connectée, et un espace public continu et de qualité



Type d'indicateur	Indicateur
Indicateurs Métriques	Densité d'intersections
	Distance moyenne entre intersections
	Connectivité
Indicateurs Topologiques (structure du réseau)	Surcroit moyen de distance parcourue
	Nombre cyclomatique
	Eloignement moyen
	Centralité intermédiaire
	Centralité de proximité
	Coefficient de clustering
	Hiérarchie des hubs

Liste d'indicateurs pour l'analyse des réseaux à moyenne portée (bus) et à courte portée (réseau viaire)

Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :
Articuler la densité urbaine avec des pics d'activité autour des principaux hubs de transport en commun

Application

Quelle stratégie intégrée pour les nouvelles gares du grand Paris ?

Configurer et financer : intensifier le tissu urbain autour des nouvelles gares en intégrant la planification du foncier et celle des infrastructures

L'un des points clé de la stratégie d'intensification à proximité des nouvelles gares du Grand Paris reposera sur la capacité des collectivités locales et des pouvoirs publics à **générer du foncier à forte flexibilité et à forte valeur ajoutée.**

Pour promouvoir la flexibilité et la création de valeur, la création du parcellaire devra être

1. Finement articulée avec la définition et la création d'une maille viaire fine
2. Présenter une forte diversité des tailles de parcelles et des usages

Objectif : fournir une stratégie et un cadre opérationnel pour les collectivités et les développeurs qui intègrent localement:

1. Planification locale des transports et des infrastructures
2. Intensification de la maille viaire et de l'espace public
3. Intensification de la valeur foncière au travers de la flexibilité et de la densité

Application

Financer la densification des territoires par la captation de valeur foncière ?

Le contexte:

1. Investissements massifs dans les infrastructures de transports public par les collectivités
2. Objectif gouvernemental de 2,5 millions de logements neufs en 5 ans donc 750 000 logements sociaux

La création de nouvelles infrastructures et la densification créent de la valeur foncière. Des mécanismes adaptés de captation de valeur foncière peuvent contribuer au financement de ces investissements :

- A Tokyo, Seoul et Hong Kong, les lignes de métro sont intégralement financées par la captation d'une partie de la valeur foncière créée par les investissements public/privé
- A New York, le plan « NYC 2040 : Housing the Next One Million New Yorkers » prévoit une densification dans Manhattan, financée dans sa plus grande partie par la captation de valeur foncière



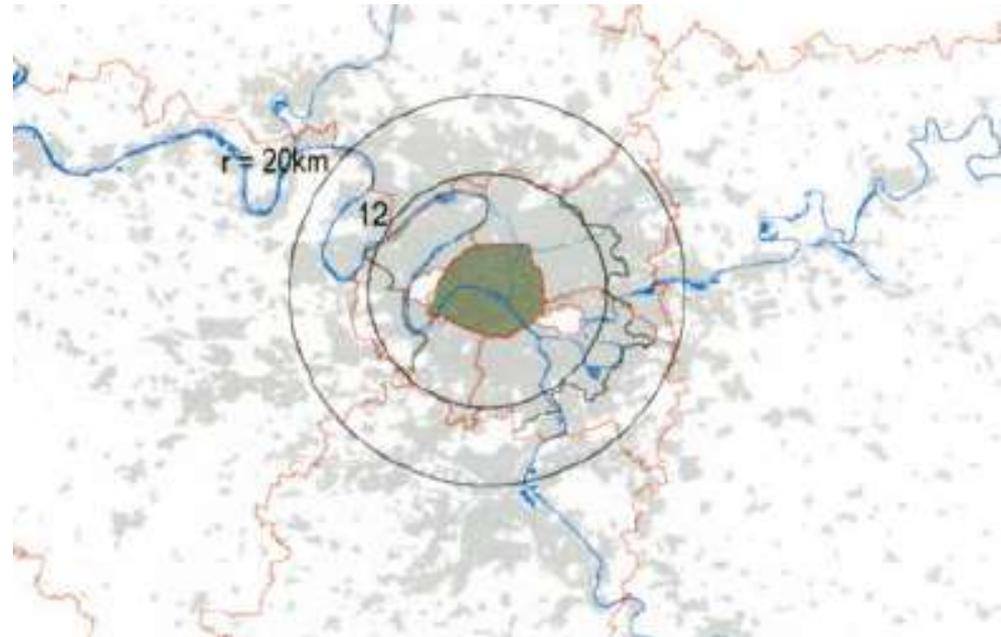
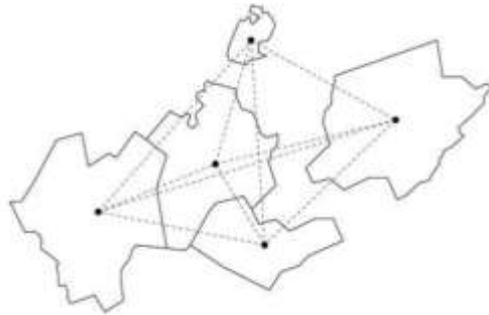
« NYC 2040 : Housing the Next One Million New Yorkers »

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

3 – Compacité

- La compacité des territoires urbains quantifie dans quelle mesure les ressources d'une ville (personnes, bâtiments, emplois) sont dispersées au sein de la zone urbaine. En d'autres termes, elle mesure l'accessibilité des différentes parties de la ville entre elles.
- Elle peut être mesurée avec un indice analogue à ceux utilisés dans les modèles gravitaires de transport. L'indice gravitaire G_i d'une partie donnée de la ville est proportionnel à sa taille ou son attractivité, et inversement proportionnel au coût généralisé de transport pour atteindre les autres parties de la ville.

$$G_i = \sum_{j \in G - \{i\}} \frac{W[j]}{e^{\beta \cdot d[i,j]}}$$



La fragmentation et la faible compacité accroissent les dépenses énergétiques d'un territoire et hypothèquent les économies d'agglomération

La métropole du Grand Paris

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

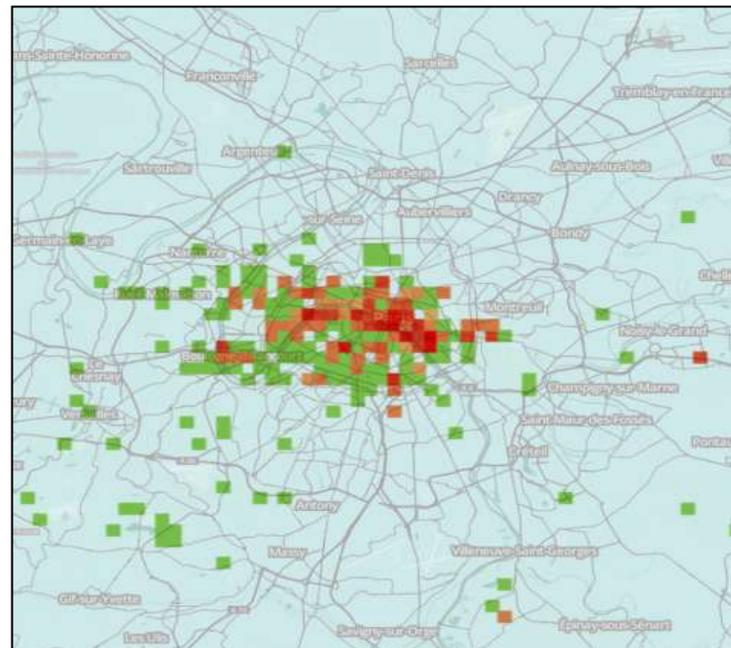
4 - Mixité

1. La mixité fonctionnelle (bureaux-logements-commerces) promeut les trajets courts et les modes de déplacement doux, contrairement aux environnements urbains zonés et mono-fonctionnels qui sont dépendants à l'automobile
2. La mixité à l'échelle du quartier et de l'îlot favorise les interactions et l'inclusion sociale

Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :
Encourager la mixité fonctionnelle et sociale à l'échelle de l'îlot

La mixité fonctionnelle, économique ou sociale au sein des territoires peut être cartographiée à l'aide de formules d'entropie (type Shannon):

$$\text{Entropie} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{p_i}{P_N} \log \left(\frac{p_i}{P_N} \right)}{\log N}$$



Entropie de l'écosystème de l'innovation en Ile de France

Source : Institut des Morphologies Urbaines et des Systèmes Complexes

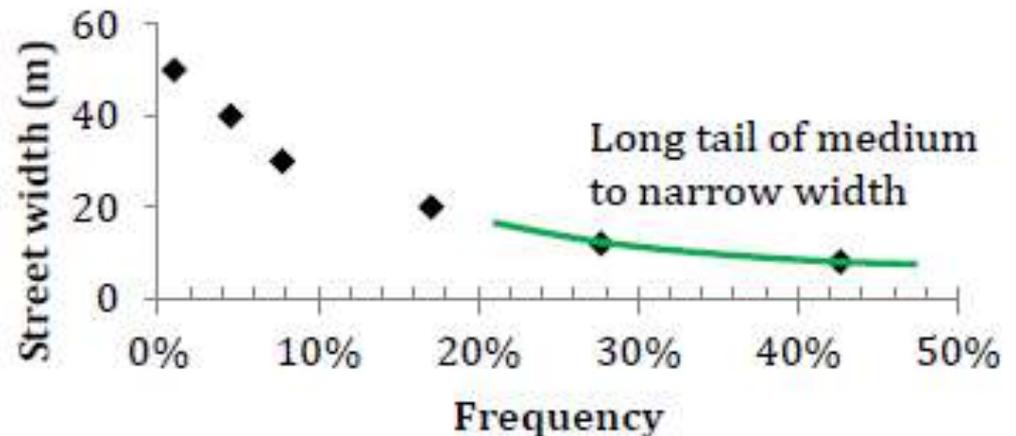
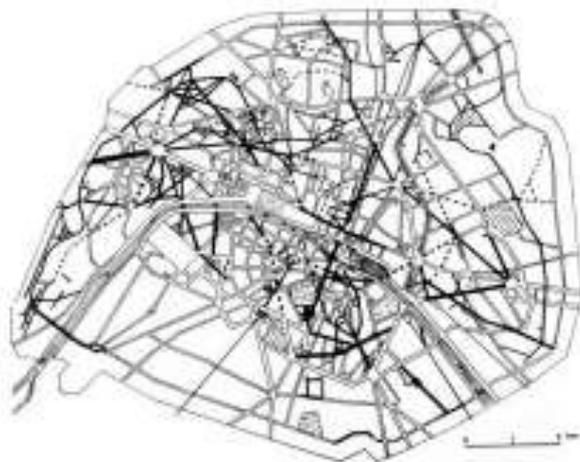
Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

5 – Hiérarchie et structure de la maille viaire

Un **tissu urbain à « grain fin »** se définit par une densité d'intersections (plus de 100 intersections/km²) et un linéaire de rues élevés ainsi qu'une taille de bloc réduite (moins de 100m en moyenne).

- Il encourage la marche, les trajets courts et les modes de déplacement doux
- Il permet la mise en place d'une plus **grande mixité fonctionnelle**
- Il permet une plus **grande flexibilité du foncier**
- Il garantit la **continuité de l'espace public**

Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :
Promouvoir une maille urbaine fine et hiérarchisée
dans les nouveaux projets urbains



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

5 – Hiérarchie et structure de la maille viaire

La dilatation de la maille viaire induit :

- Un urbanisme mono-fonctionnel zoné
- Une chute de la densité
- Une dépendance forte à la voiture
- Un univers urbain inadapté au piéton

Distance moyenne entre intersections Paris :
120m

Distance moyenne entre intersections Noisy Champs :
250 m

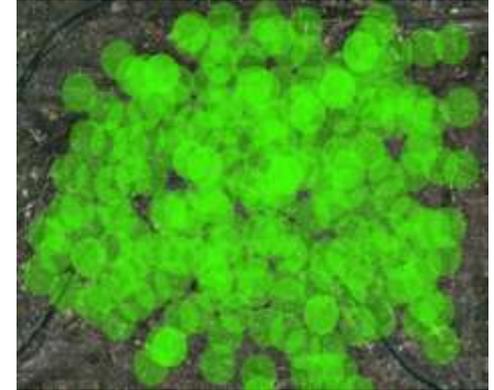


Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

6 – Accessibilité et structure des réseaux de transport public

Le succès d'un réseau de transport public urbain repose notamment sur :

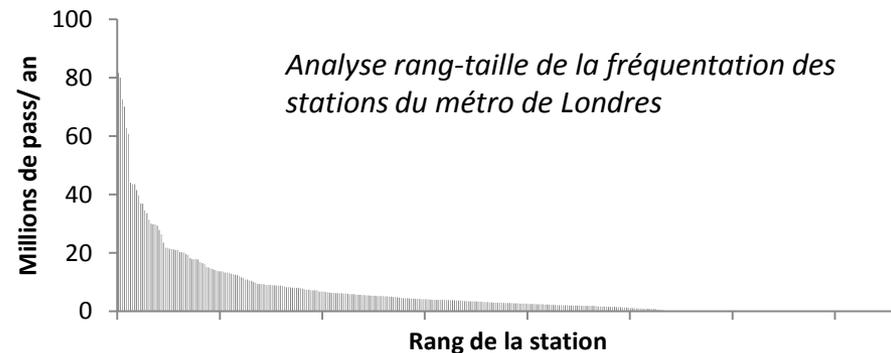
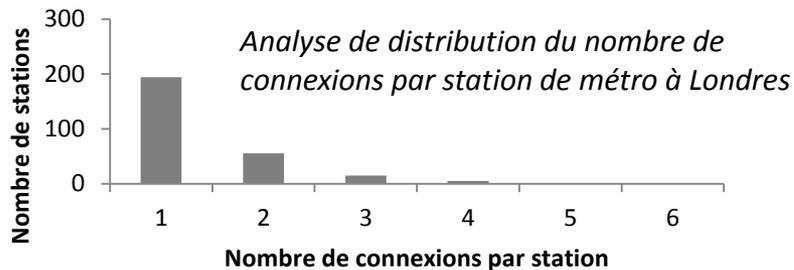
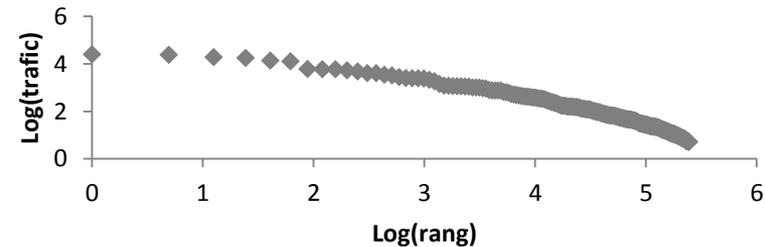
- Une accessibilité généralisée à moins de 400m
- Une structure qui garantit une connectivité, une efficacité et une résilience systémique fortes



Accessibilité à moins de 400m dans Paris intra muros

Les réseaux de transport public efficaces présentent des propriétés structurelles communes, propres aux systèmes complexes « matures » :

- Distribution en longue traîne du nombre de connexions par station
- Distribution en longue traîne de la fréquentation des stations

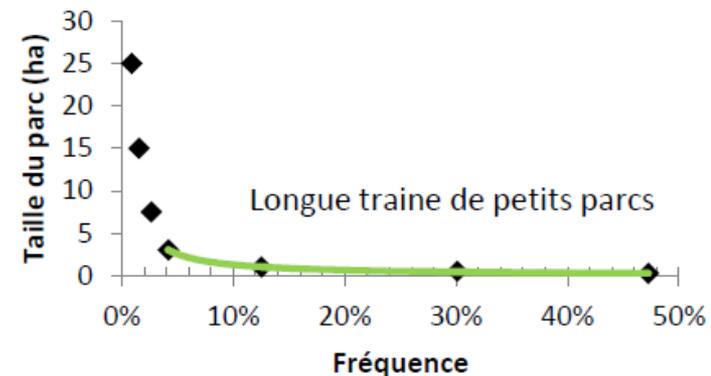
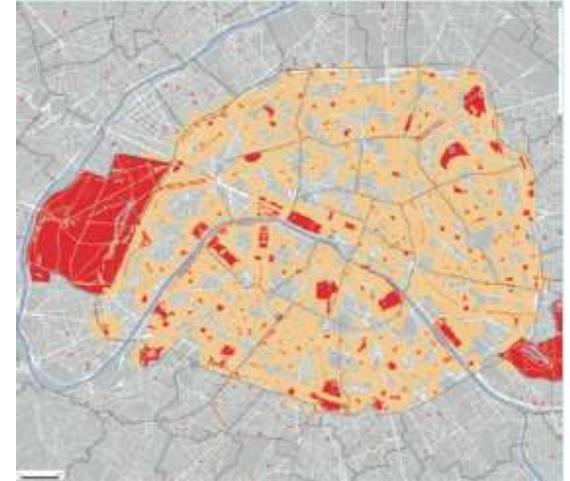


Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

7 – Accessibilité des aménités

L'accessibilité est un indicateur de la capacité à **accéder aux ressources et aux opportunités économiques et sociales** (activités de production et de consommation) dans les villes

- L'accessibilité de proximité permet le développement de modes de transport multiples et la réduction de la demande énergétique et des émissions liées au transport
- L'optimisation de l'accessibilité aux transports en commun ou aux aménités urbaines en tenant compte de la contrainte économique repose sur une distribution de type longue traîne de ces aménités : quelques aménités de grande taille réparties dans la ville (grands hubs, grands parcs, supermarchés, hôpitaux, université), et une longue traîne d'aménités de moyenne et petite taille (stations, squares, commerces de proximité, médecins, crèches et école)



La distribution de type longue traîne des parcs parisiens assure l'accessibilité à moins de 5 minutes de marche à plus de 80% des parisiens

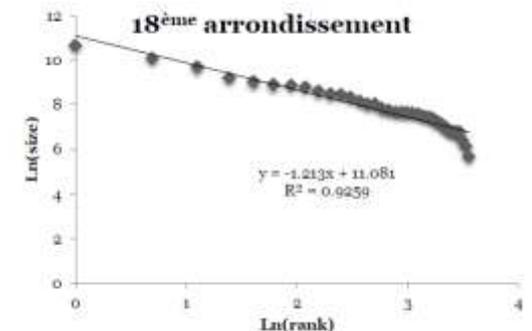
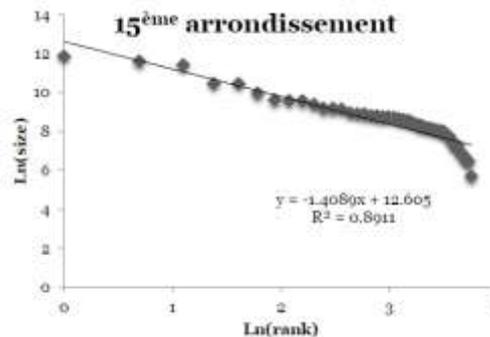
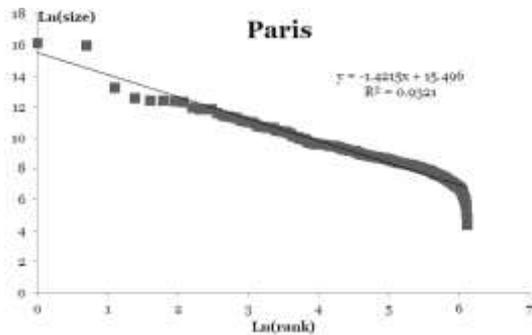
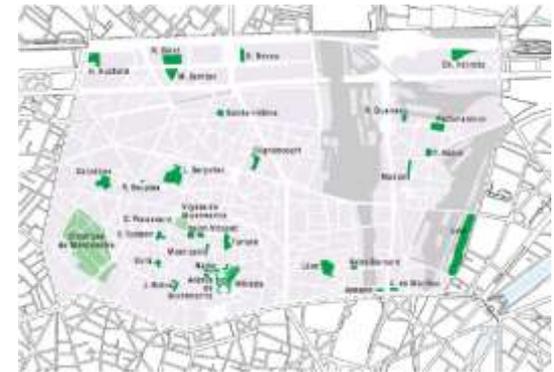
Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :

Favoriser l'accessibilité généralisée en augmentant les investissements dans les aménités et services urbains de proximité

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

7 – Accessibilité des aménités

Généraliser l'accessibilité aux différentes échelles de la ville, l'exemple des parcs dans Paris intra muros : Dans Paris intramuros (100km²) avec seulement 5% d'espaces verts, nous trouvons: 450 parcs et jardins publics (2 bois > 800ha, 6 parcs > 20ha, 14 jardins > 5ha, 60 jardins > 1ha, 73 jardins > 0,5 ha, 300 jardins < 0,5 ha). On retrouve ce type de distribution des parcs publics à Manhattan.



Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

8 - Planification énergétique: recycler en cascade les flux énergétiques

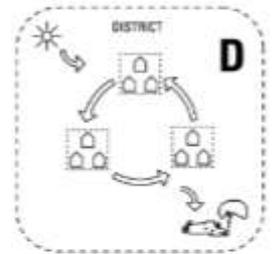
La majeure partie de l'énergie urbaine est perdue sous forme d'énergie résiduelle non fonctionnelle. Le demande d'énergie utile peut être réduite par un usage plus efficient de l'énergie, basé sur des stratégies à « basse exergie »

Ces stratégies consistent en le **recyclage en cascade** des flux énergétiques en fonction de leur qualité (électrique, mécanique, thermique) pour améliorer l'ensemble du processus énergétique.

Cartographier la demande énergétique à l'échelle des quartiers pour quantifier le potentiel de stratégies à « basse exergie »



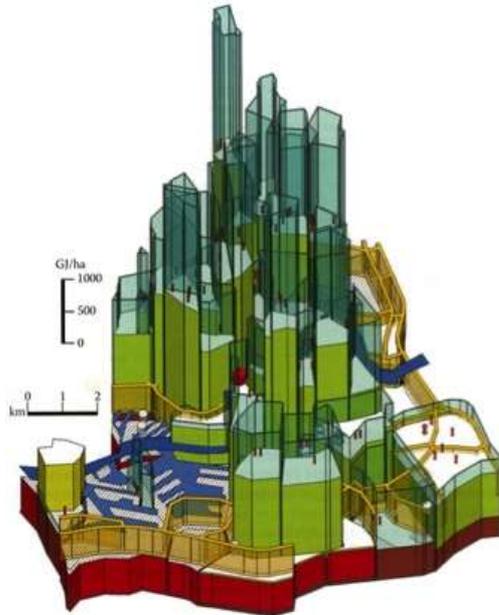
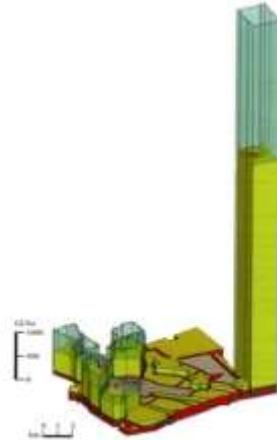
Mixité thermique à l'échelle du quartier (REAP)



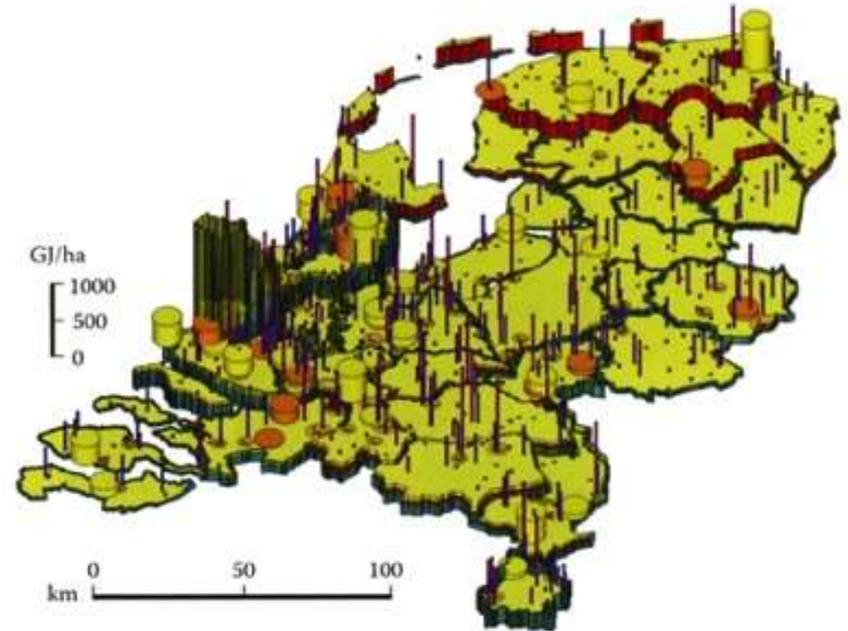
Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – Cartographier l'énergie territoriale

Carte de potentiel thermique pour la région d'Emmen



Carte de potentiel thermique pour la ville de Rotterdam



Carte composite de la demande et du potentiel de chaleur pour les Pays-Bas

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

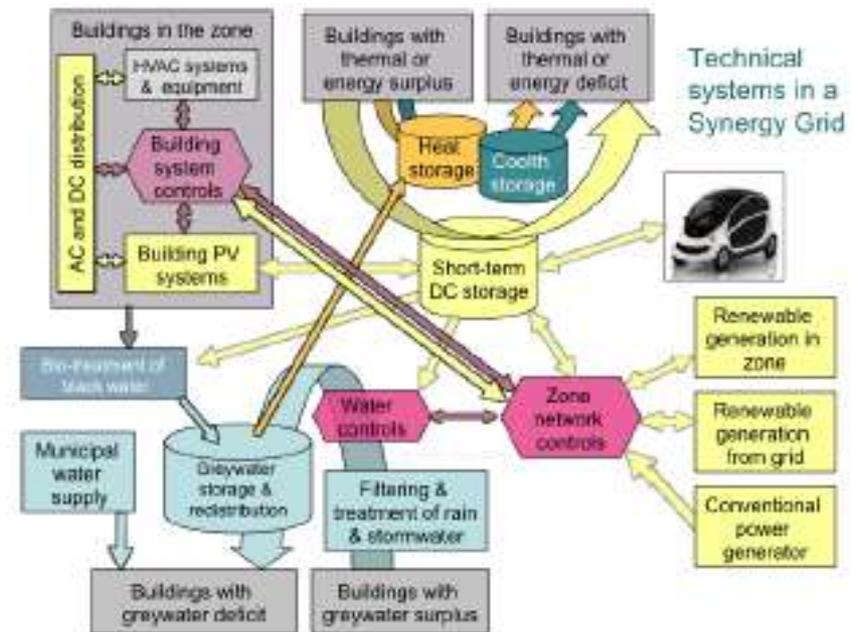
8 - Planification énergétique : accroître les synergies

La mixité fonctionnelle induit de la mixité énergétique car le profil et le type de la demande énergétique (électricité, chaleur ou froid) changent en fonction de la typologie des bâtiments (logements, bureaux, commerces).

La mixité énergétique permet de:

- Lisser les pics de demande locale
- Réduire le dimensionnement des installations énergétiques
- Faciliter le déploiement des stratégies de type smart grids et synergy grids

Potentiel du déploiement d'une smart grid : - 18% de consommation électrique
Potentiel de déploiement d'une Synergy Grid dans un quartier à forte mixité : -40% de l'énergie totale (REAP)



Principe d'une Synergy Grid:
Recycler les flux d'énergie (chaleur, électricité, froid)
en cascade

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – Rénovation thermique

Les besoins de chauffage dépendent de la forme des bâtiments

- Le bâti dense et contigu, parce qu'il dispose de moins de surface exposée et d'une inertie thermique plus grande, a besoin structurellement de moins d'énergie de chauffage
- Les bâtiments indépendants sont exposés sur 5 cotés et ont besoin structurellement de 2 fois plus d'énergie pour le chauffage

Levier prioritaire pour les pouvoirs publics :
Encourager la rénovation thermique des bâtiments indépendants plutôt que du bâti dense et contigu



Bâtiment indépendant

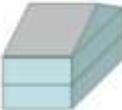
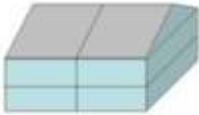
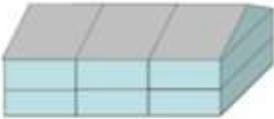
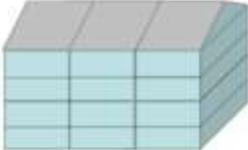


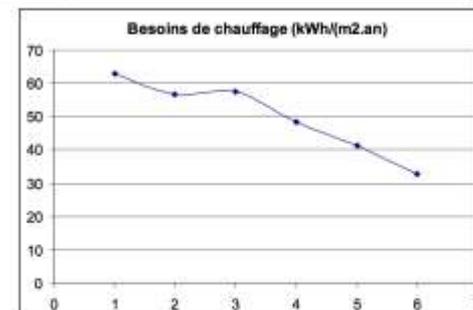
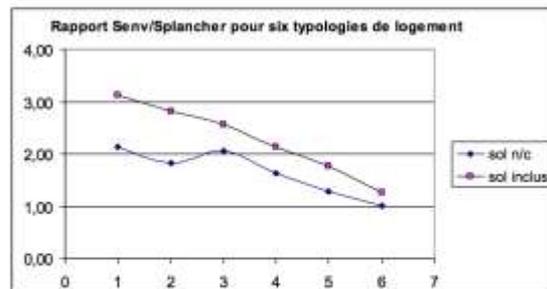
Bâti dense et contigu

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – La typologie renforce les effets de la faible densité pour rendre les tissus pavillonnaires inefficients énergétiquement

Valeurs du rapport Senvloppé / Splancher pour six configurations de logements (sol inclus)

1. Maison isolée Se/Sp = 3,10	2. Maisons jumelées Se/Sp = 2,90	3. Maison en R+1 Se/Sp = 2,55
		
4. Maisons jumelées en R+1 Se/Sp = 2,10	5. Maisons en bande en R+1 (10 maisons de ville) Se/Sp = 1,80	6. Duplex superposés en R+3 (10 maisons de ville) Se/Sp = 1,25
		

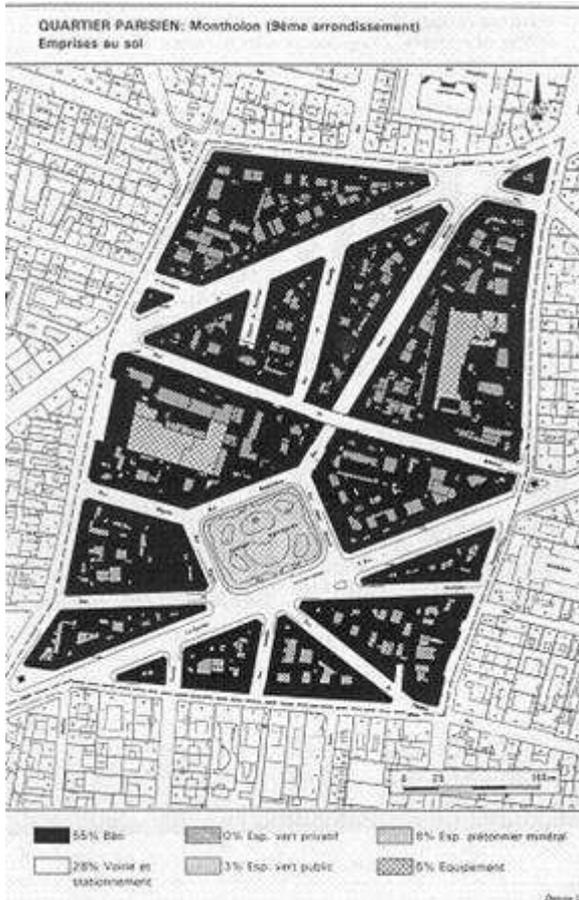


Parois verticales : 12 cm d'isolant, $U = 0,315 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, isolation par l'extérieur avec traitement des ponts thermiques ;
 Toiture : 20 cm d'isolant, $U = 0,170 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
 Sol sur terre plein : $U = 0,240 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
 Vitrage : $U = 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
 Répartition des vitrages: 50% sud, 50% nord, sur la base de Svitr/Shab = 0,30 ;
 Taux de renouvellement d'air : 0,6 vol/h.

Source: JP Trainel

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – Comparaison de 3 morphologies urbaines: densité et typologie



COS:4,5



COS:1,25

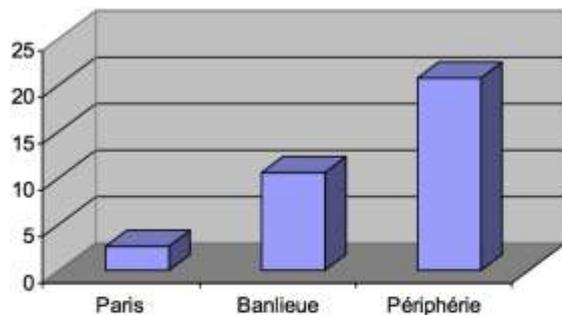


COS: 0.5

Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – Comparaison de 3 morphologies urbaines: densité, typologie, énergie

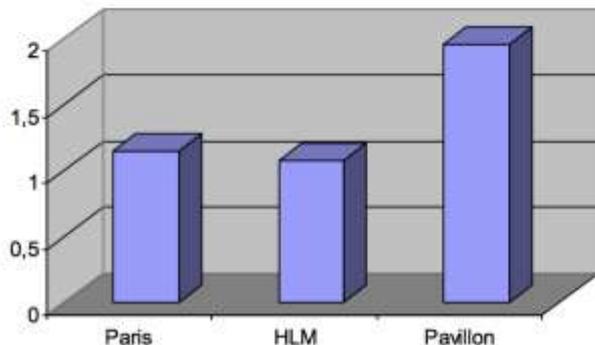
Surface voiries + stationnement
(m²/personne)



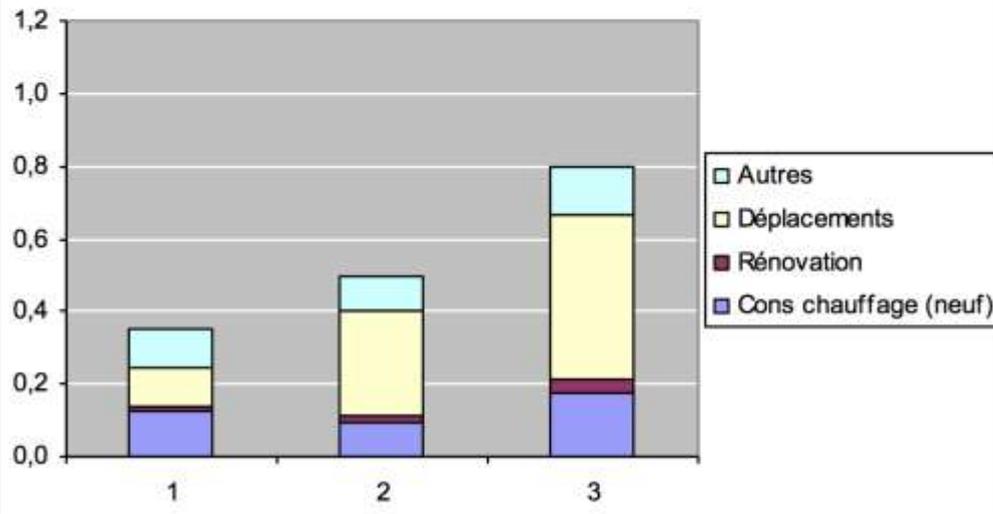
Région IdF:

1. Paris (immeuble urbain)
2. Banlieue (grand ensemble)
3. Périphérie (pavillonnaire)

S enveloppe extérieure / S habitable

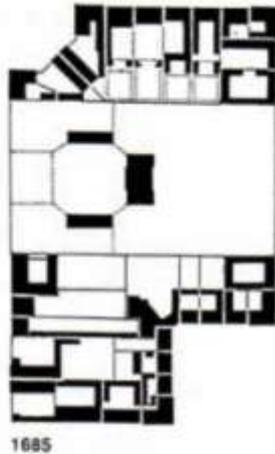
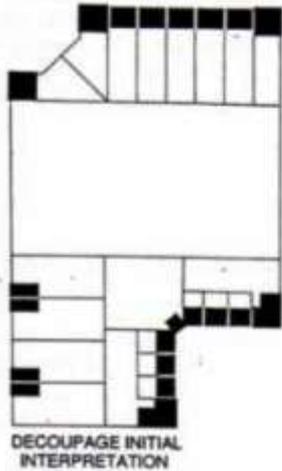


Emissions de CO₂ par personne (en TeC/an)
(logement neuf)

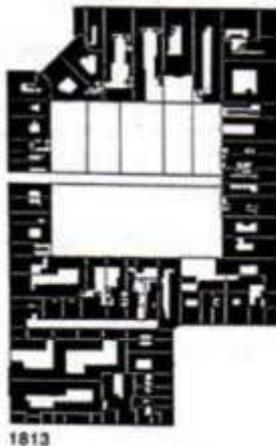


Quels leviers pour diminuer la demande énergétique ?

9 – Comment apporter densité et mixité fonctionnelle en périurbain ?



Exemple de Versailles (en 200 ans...)



Exemple de Versailles en deux siècles



Merci de votre attention