

Petits pays renouvelables

Densités critiques et décentralisation du zéro émission nette

X Ponts Pierre - 21 octobre 2021 – Raphaël Ménard

AREP

Fondée en 1997, AREP est l'agence d'architecture pluridisciplinaire.

Filiale de SNCF Gares & Connexions, elle a pour mission d'inventer un futur post-carbone.

L'agence intervient et innove sur tous les métiers essentiels au renouveau de l'architecture et des territoires, de la conception architecturale, urbaine et paysagère à l'ingénierie en passant le design, le conseil en programmation et le management de projet.

Engagée dans la transition écologique notamment via son référentiel EMC2B, AREP apporte des réponses concrètes aux enjeux majeurs de l'urgence écologique.

AREP compte près de 1 000 collaborateurs de 30 nationalités différentes, en France et à l'international et son chiffre d'affaires la place en tête des agences d'architecture en France.

Quelques chiffres

- CA 2020 : 110 M€
- CA 2020 à l'international : 17,8 M€
- Effectif fin 2020 : 980
dont 150 à l'international

AREP

contact@arep.fr

[FR](#) [EN](#) [中文](#)

INVENTER UN FUTUR POST-CARBONE

[Découvrir AREP](#)

De la densité (d'usage)

1

Dense cities in 2050: the energy option?

Raphaël Ménard
31 rue du Repos
75020 Paris, France
menard.raphael@gmail.com

Keywords

car industry, energy-neutral, renewable energy, zero-carbon technologies, vehicles, urban model, smart grids, population density, long-term policy, land use, fuel consumption, electric vehicles, car transportation, density

Abstract

In 1989, a widely-publicized article by Newman and Kenworthy revealed the correlation between urban density and energy consumption linked to the car. It summarized in a "logo-curve" the chaos of urban sprawl. In its apology, this paradigm of hyper density has most certainly ever encouraged land speculation in urban centres, this phenomenon causing in turn urban sprawl. The present paper re-examines this correlation: we assess the energy consumption loads generated by the use of the automobile and productions due to renewable energies installed in urban areas. A prospective vision is associated to two major technological developments.

Cars: 20 years after the publishing of the Australian article, the automobile industry has slowly started to initiate a change in energy policy: downsizing the engines, efforts to reduce weight, reducing friction, generalization of micro-hybrids, plug-in hybrids and the popularizing of electric vehicles.

Renewable energies: for the photovoltaic market as an example, where one can expect in 2015 a crossover between the cost of production of photovoltaic electricity and the sales price of the network. As a result, the decentralized storing capacities made possible by the use of electric vehicles shall offer a more satisfying answer to the intermittency of renewable. More generally, annual production of renewable energies is in direct relation to the spatial extent of their surface.

As a result, low density implies the increase of potential production (brought to the inhabitant of the urban area). The addition of these two phenomena is outlined and analyzed in this paper. Nearing 2040, it's very likely that the energy balance be more favourable for urban areas of low density (and for CO₂ emissions as well). This tendency should therefore influence political incentives in order to develop first and foremost automobile efficiency and a decentralized production in those urban locations.

Introduction

BACKGROUND

Urban density and car use

Twenty years ago, Newman and Kenworthy (Newman, 1989) highlighted the relation between urban density and energy consumption due to individual car use. From data collected worldwide over large metropolitan areas, this correlation revealed that as urban density increased, fuel consumption was reduced. This asymptotic behaviour has been largely popularized for the past twenty years. The said curve became the logo and an introductory slogan for ecological advantages of the compact city. On the other side of the mirror, this study quantified the impact of automobile devastation as a result of urban sprawling. Fouchier (Fouchier, 1997) furthered this study taking for examples some new towns in outer Paris. The correlation revealed an identical behaviour to the one demonstrated by the Australian researchers. In other works (Banister, 1997), urban density is the predominant parameter on modal

2

Ignis Mutat Res

Penser l'architecture, la ville et les paysages au prisme de l'énergie | Session 1

Reforme

Rapport final | Equipe Reforme



De la densité (d'usage)

3

Energie Matière Architecture

Raphaël Ménard

Doctorat par VAE
Encadrant, Robert Le Roy
Accompagnateur, Marcel Pariat

4

5

Critical Densities of Energy Self-Sufficiency and Carbon Neutrality

Finding the routes to self-sufficiency. The end of the two-century long fossil fuel interlude. Creating a new global convergence, a myriad network of local self-sufficiency. What is the limiting balance between the consumption and collection of renewable flows? What is the density, the level curve of an energy topography that identifies self-sufficient regions? What are the good governance scales for orchestrating energy self-sufficiency and carbon neutrality?

5.1. Introduction

This chapter originates from a presentation made at the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne entitled "Territories with 1 watt"¹. Before this conference, in November 2015, Léo Benichou sent the following question to Fanny Lopez, Marc Barthelemy and me:

"[...] Inspired by Marc Barthelemy's work on networks, Raphaël Ménard's work on energy catchment areas, and of course Fanny Lopez's work on the disconnection dream, I would like to raise the following question: Given the challenges of mobilizing solar (and derived) energy resources at the service of human societies. Given the infrastructures' energy costs (fixed and mobile) that make it possible to collect, transform, store, transport and deliver energy carriers and services. [...] How can an optimal scale for the expansion and pooling of our energy infrastructures be determined? When sizing our

Chapter written by Raphael MÉNARD.

¹ In 2016 as part of the IDEAS doctoral seminars.

De la densité (d'usage)

5

Petits pays renouvelables

Pour une décentralisation du « net zéro » et pour la relocalisation des bassins versants écologiques au cœur des territoires, ou comment (re)donner le pouvoir aux zones de faible densité.

Zones agricoles, aires péri-urbaines, friches industrielles, massifs forestiers... Quels destins post-carbone pour les territoires les moins peuplés ? Au-delà de leur vocation souvent agricole et productive, ils sont pourtant nos futurs « bassins versants » d'énergie, de matériaux, comme nos puits de carbone.

Avant le 19^{ème} siècle, avant l'impasse de l'ère thermo-industrielle, les territoires de densité modérée étaient généralement autonomes vis-à-vis des principaux flux nécessaires à l'activité humaine : alimentation, eau, énergie, matériaux ... Le métabolisme était local, fortement circulaire et les flux entrants, principalement renouvelables (de la biomasse en majorité). Plus encore, souvent excédentaires en production par rapport à leurs besoins propres, ils constituaient les corolles d'abondance des villes et approvisionnaient les centres urbains. Avant les révolutions industrielles, avant la naissance de l'ère extractiviste (hydrocarbures, minerais), avant la mondialisation et la mise en réseau des stocks à l'échelle planétaire, ces régions étaient autant de « pays renouvelables », au sens de leur capacité à équilibrer besoin et production.

Aujourd'hui, il faut urgemment retrouver ce chemin : faire atterrir les besoins des zones denses [1-Pic choisi] et, en parallèle, prendre soin de ces bassins versants, les renforcer, en articulant leurs proximités et leurs symbioses. Ce sera la clé pour recomposer le puzzle cohérent de notre atterrissage planétaire. D'un point de vue démocratique, leurs habitants attendent d'être repositionnés au cœur du pacte social et fiers de participer au bien commun. Zones égarées dans la « diagonale du vide », franges péri-urbaines, la réparation du monde, la sortie de l'anthropocène passera d'abord par la reconfiguration de ces pays, plutôt que par les grands centres urbains, incapables physiquement d'un métabolisme autonome. Plutôt que des *smart cities*, nous avons besoin de bourgs et de hameaux au cœur des projets politiques : ils sont des leviers formidables pour les transitions et des lieux offrant davantage de libertés d'expérimentations. Il nous appartient de redécouvrir et révéler leur potentiel pour nourrir les zones denses : au sens alimentaire évidemment, mais aussi de tous les intrants (eau, matière, énergie etc.), comme la saine gestion des exutoires (réabsorption du CO₂, traitement des eaux et des matières utilisées etc.). Sans avoir la prétention d'être exhaustif sur la diversité des flux territoriaux, retenons que le mode d'occupation des sols est un enjeu considérable pour l'alimentation (A), l'autonomie énergétique (E) et la neutralité carbone (C). En relocalisant, en organisant des biorégions, c'est une myriade d'atterrissages locaux, plutôt que pour l'exemple de la neutralité carbone, un grand soir de la compensation par un projet de reforestation en Amazonie ou ailleurs (et encore moins du fait d'hypothétiques technologies de capture de gaz à effet de serre).

Avant la transition écologique

4 Avant transition, pour le premier besoin, l'alimentation, l'hopkinois a encore un régime largement carné et l'emprise nécessaire est alors de l'ordre de 4000 m² de surface agricole afin de subvenir à ses besoins en nourriture. Évidemment une grande partie de la surface foncière dévolue à la chaîne de production alimentaire est associée aux pâturages nécessaires à l'alimentation des bovins, des ovins et des porcins et dans une moindre mesure, aux volailles.

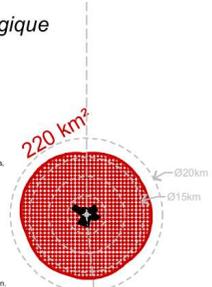
5 Avant transition, pour ce qui concerne les besoins énergétiques, le flux moyen de consommation est de 6000 W, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie primaire de l'ordre de 5000 kWh. Pour parvenir à composer un mix renouvelable équilibré, compensant les intermittences des différentes énergies renouvelables, la surface nécessaire serait d'environ de 2000 m². Comme nous l'avons dit, cette surface peut sans doute largement se mutualiser avec la première, à savoir le foncier dédié à la production alimentaire : panneaux solaires sur les hangars de matériel agricole ou sur les serres, isolées dans les champs, bio-méthane issu des déchets de la production agricole etc.

6 Concomitamment l'objectif de neutralité carbone. l'équation devient par contre plus ardue. Avec une empreinte globale de près de 12 tonnes de CO₂ par an, l'hopkinois réclame près de 3 hectares de forêt pour compenser ses émissions de gaz à effet de serre. En effet, une forêt durablement exploitée absorbe et séquestre l'équivalent de 3 à 5 tonnes de CO₂ contenu dans l'atmosphère par an.

7 A ce stade donc, la production annuelle de bois est de près de 10 m³ par habitant, autrement dit de gaz construite près de 30 m³ annuellement. C'est bien trop et Hopkins est excédentaire en production de bois, du fait de l'importance de neutralité carbone. L'objectif de compensation carbone par la séquestration ligneuse conduit à un excédent de production de bois (et qui n'est de ne pas brûler à des fins énergétiques sans qu'il le CO₂ soit rémis !)

8 A ce stade donc, la surface nécessaire par habitant serait donc de 3400 m² la (on part du principe que la production renouvelable serait installée sur les 4000 m² dédiés à la production alimentaire afin de compenser et d'équilibrer les fonctions métaboliques. Nous pourrions aussi appliquer les principes d'agriculture sylvo-civile et cela permettrait éventuellement de réduire un peu l'empreinte spatiale globale.

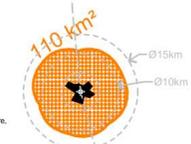
9 A l'échelle donc de l'ensemble des habitants d'hopkins, la concentration des bassins versants alimentaires, énergétiques et carbone conduit alors à une surface minimale de 220 km² soit près de 50 fois le bassin de vie d'hopkins. Sur l'ensemble de son territoire communal, hopkins réclame donc 200km² de surfaces complémentaires afin d'assurer l'autosuffisance alimentaire, énergétique et carbone de ses habitants. Deux options : ou bien Hopkins "tréflode" d'autres territoires (mais il y a alors risque de concurrence et d'impactabilité écologique globale, ce que nous verrons ensuite) ou bien les habitants entendent tous une transition collective.



Pendant la transition

10 Nous choisissons pour ce récit d'opter pour la seconde option. Pendant la transition sur quelques années, la surface nécessaire, la somme des bassins versants, est passée à 110km². Hopkins déborde toujours de 90km².

Dans ce régime intermédiaire, les curseurs moyens d'empreinte écologique de chaque habitant correspond aux ratios suivants :
 - Alimentation moins carnée : 2000 m² contre 4000 auparavant
 - Énergie : 4000 W contre 6000 avant transition
 - Carbone : 6 tonnes de CO₂ soit déjà -50% par rapport à avant la transition

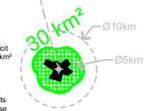


Transition accomplie

11 A terme, après transition, la somme des bassins versants s'est réduite et est passée à 25 km². Toutefois, Hopkins reste en déficit spatial, en balance écologique négative puisqu'il lui manque 5 km² pour assurer l'autosuffisance de tous ses habitants.

12 Une option pourrait consister à organiser une légère migration vers d'autres territoires plus équilibrés entre leur bassin versant et leur bassin de vie. L'autre consiste à ce qu'Hopkins compense par des échanges auprès de bassins non connectés.

13 En tout cas, ce premier exemple illustre la nécessité d'analyser à l'échelle communale la bonne cohérence et de limiter la superposition des bassins versants de chaque bassin de vie.



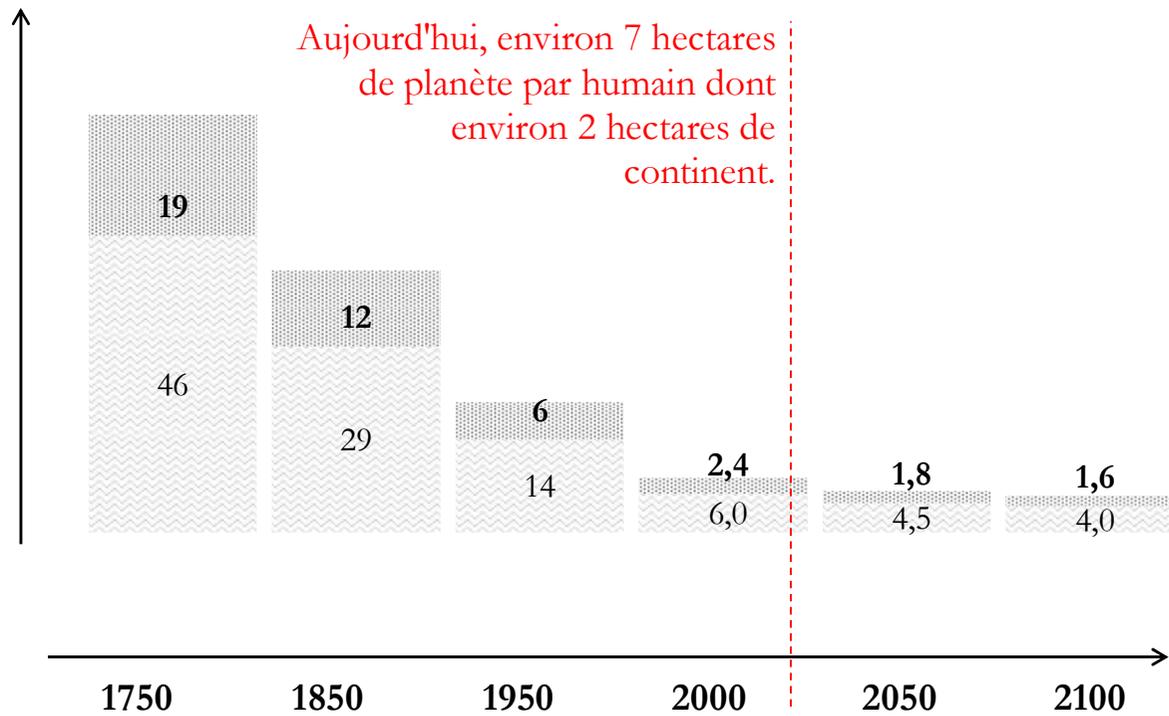
Bassins versants écologiques

Petits pays renouvelables

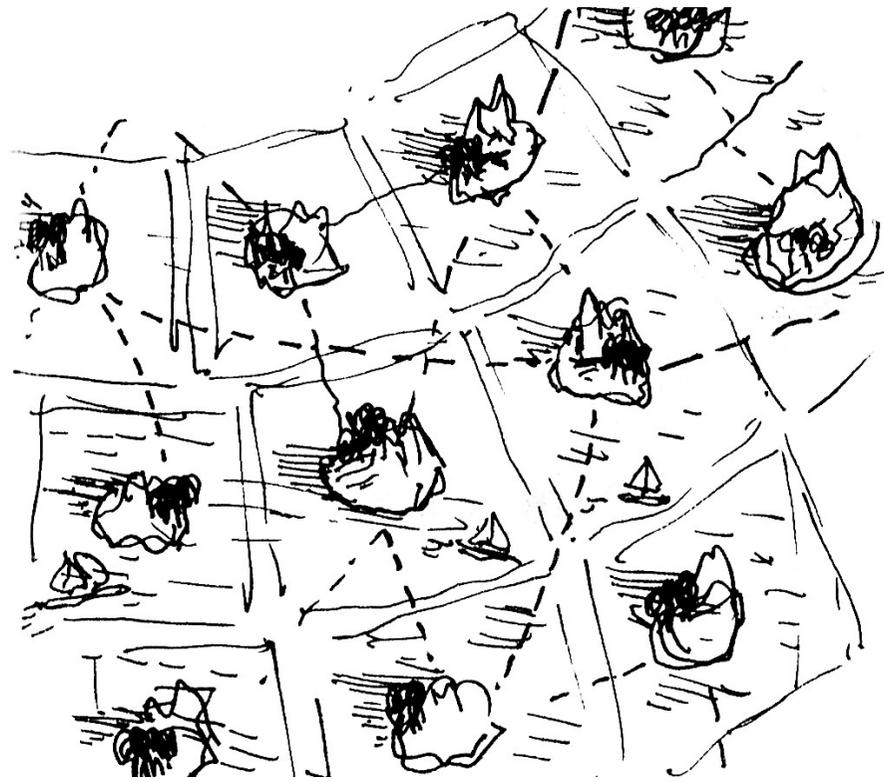
Densités critiques et décentralisation du zéro émission nette

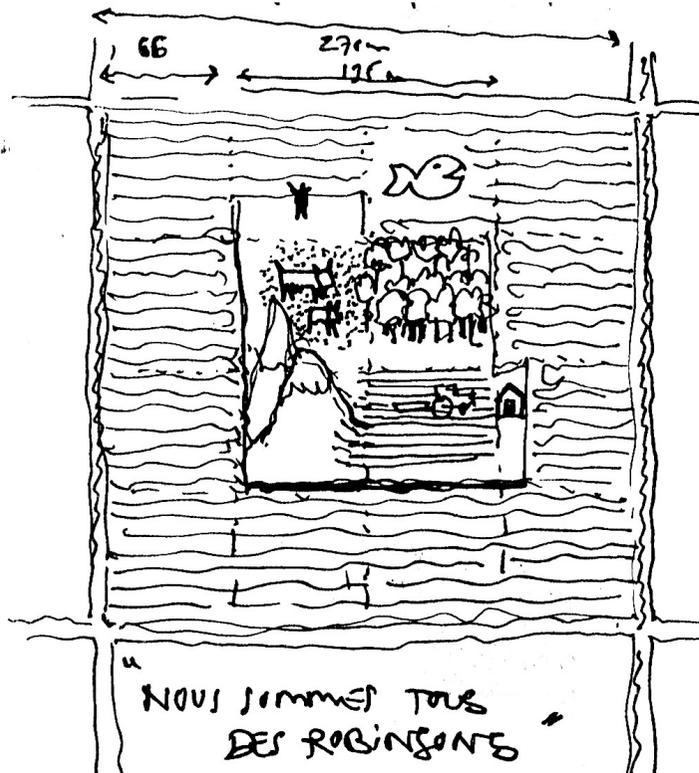
1

Zoom arrière et densité humaine planétaire



<u>population</u>	[pers]	791 000 000	1 262 000 000	2 521 000 000	6 051 000 000	8 000 000 000	9 000 000 000
<u>densité</u>	[pers/km ²]	2	2	5	12	16	18
	[ha continent]	19	12	6	2,4	1,8	1,6
	[côté continent en m]	432	342	242	156	136	128
	[ha eau]	46	29	14	6,0	4,5	4,0
	[ha totaux]	64	40	20	8,4	6,4	5,7
	[côté total en m]	803	636	450	290	253	238





" NOUS SOMMES TOUS
DES ROBINSONS "

2

Densité et transition énergétique

Un premier exemple

De la densité

1

Dense cities in 2050: the energy option?

Raphaël Ménard
31 rue du Repos
75020 Paris, France
menard.raphael@gmail.com

Keywords

car industry, energy-neutral, renewable energy, zero-carbon technologies, vehicles, urban model, smart grids, population density, long-term policy, land use, fuel consumption, electric vehicles, car transportation, density

Abstract

In 1989, a widely-publicized article by Newman and Kenworthy revealed the correlation between urban density and energy consumption linked to the car. It summarized in a "logo-curve" the chaos of urban sprawl. In its apology, this paradigm of hyper density has most certainly ever encouraged land speculation in urban centres, this phenomenon causing in turn urban sprawl. The present paper re-examines this correlation: we assess the energy consumption loads generated by the use of the automobile and productions due to renewable energies installed in urban areas. A prospective vision is associated to two major technological developments.

Cars: 20 years after the publishing of the Australian article, the automobile industry has slowly started to initiate a change in energy policy: downsizing the engines, efforts to reduce weight, reducing friction, generalization of micro-hybrids, plug-in hybrids and the popularizing of electric vehicles.

Renewable energies: for the photovoltaic market as an example, where one can expect in 2015 a crossover between the cost of production of photovoltaic electricity and the sales price of the network. As a result, the decentralized storing capacities made possible by the use of electric vehicles shall offer a more satisfying answer to the intermittency of renewable. More generally, annual production of renewable energies is in direct relation to the spatial extent of their surface.

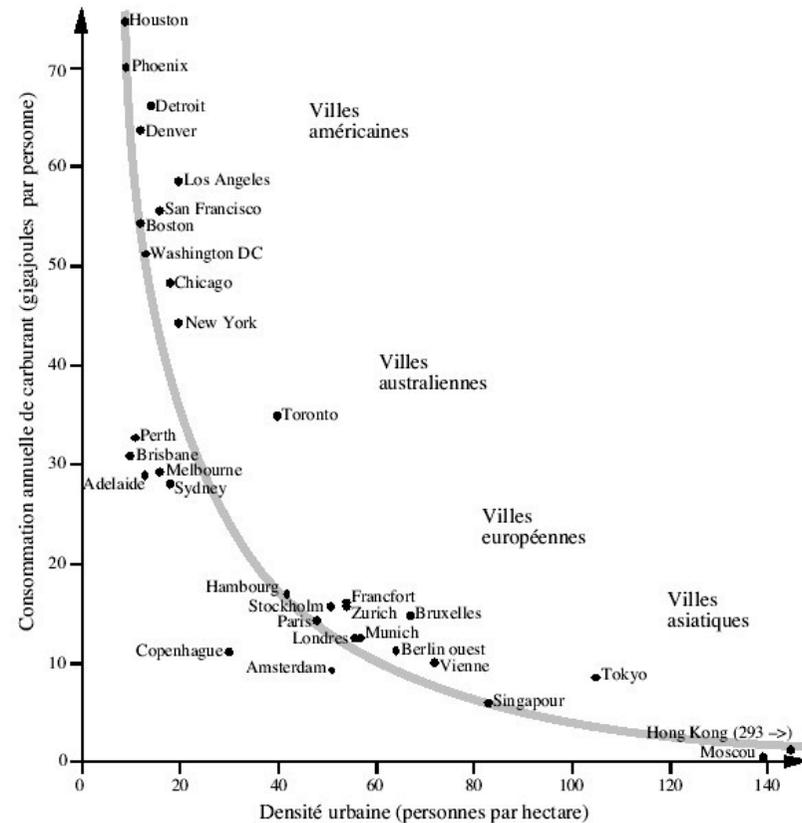
As a result, low density implies the increase of potential production (brought to the inhabitant of the urban area). The addition of these two phenomena is outlined and analyzed in this paper. Nearing 2040, it's very likely that the energy balance be more favourable for urban areas of low density (and for CO₂ emissions as well). This tendency should therefore influence political incentives in order to develop first and foremost automobile efficiency and a decentralized production in those urban locations.

Introduction

BACKGROUND

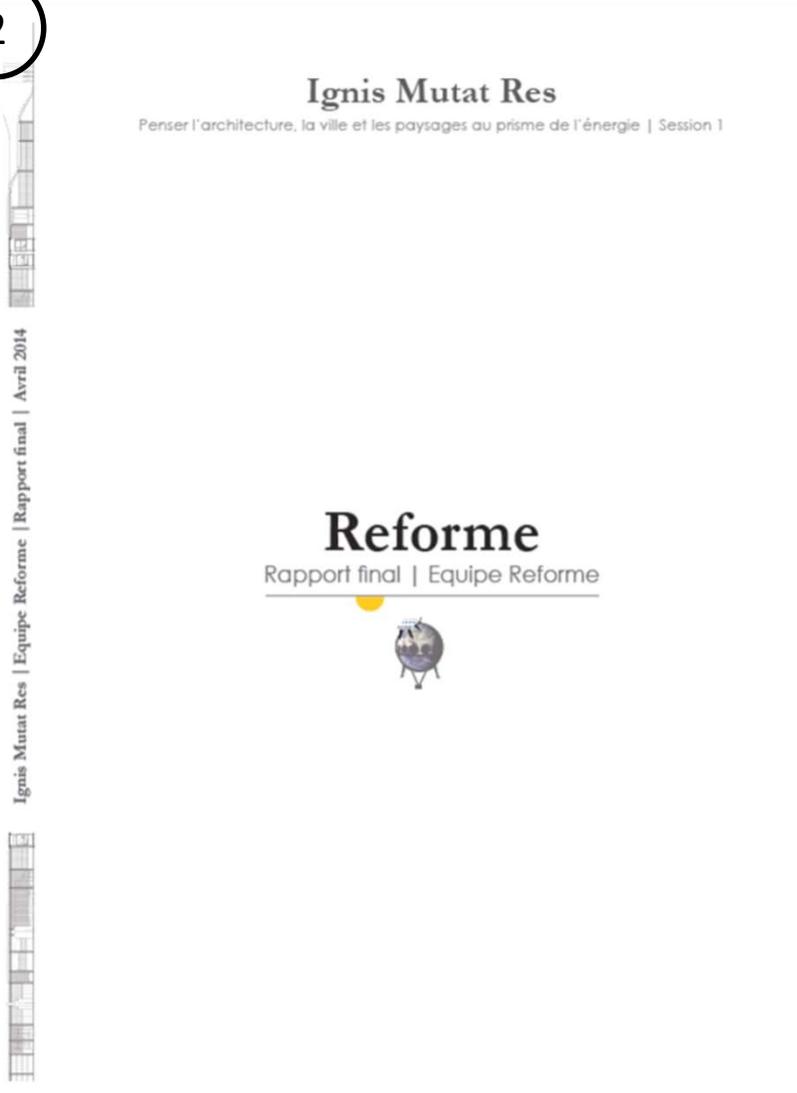
Urban density and car use

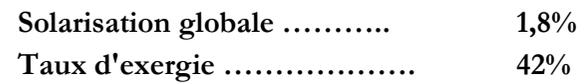
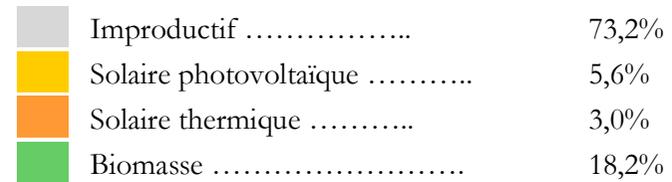
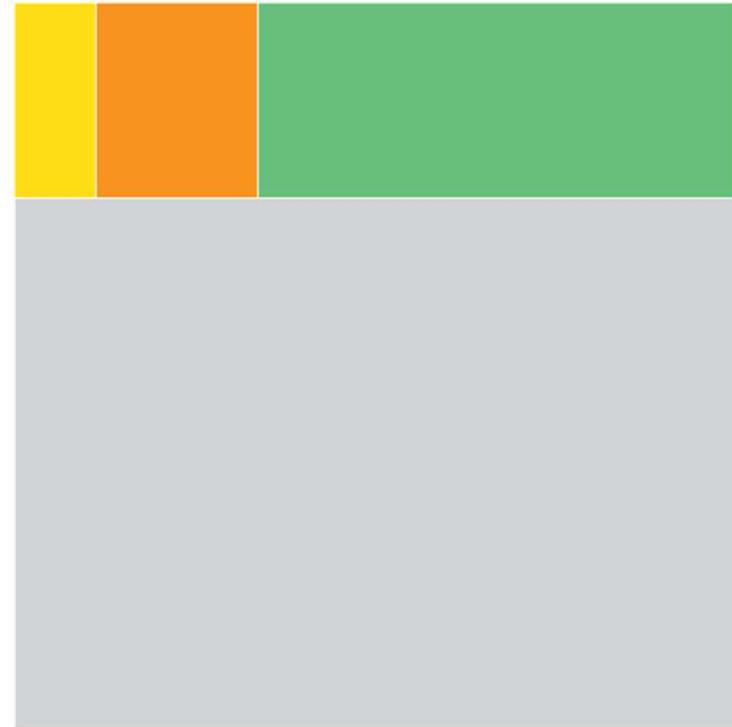
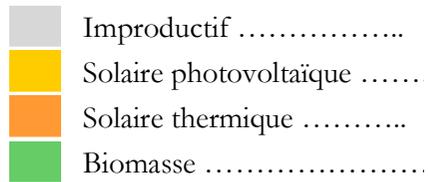
Twenty years ago, Newman and Kenworthy (Newman, 1989) highlighted the relation between urban density and energy consumption due to individual car use. From data collected worldwide over large metropolitan areas, this correlation revealed that as urban density increased, fuel consumption was reduced. This asymptotic behaviour has been largely popularized for the past twenty years. The said curve became the logo and an introductory slogan for ecological advantages of the compact city. On the other side of the mirror, this study quantified the impact of automobile devastation as a result of urban sprawling. Fouchier (Fouchier, 1997) furthered this study taking for examples some new towns in outer Paris. The correlation revealed an identical behaviour to the one demonstrated by the Australian researchers. In other works (Banister, 1997), urban density is the predominant parameter on modal



De la densité

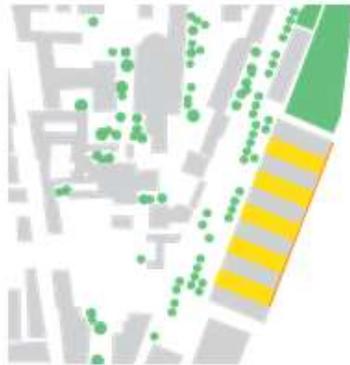
2



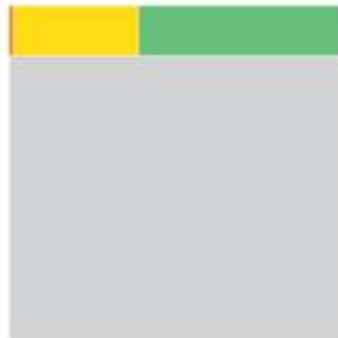


Quartier Pajol, Paris, Ile-de-France | 250x250 m

2014 : état actuel



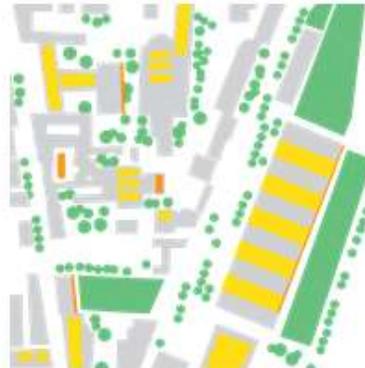
Carré de 250 par 250 mètres autour de la halte Pajol en 2014



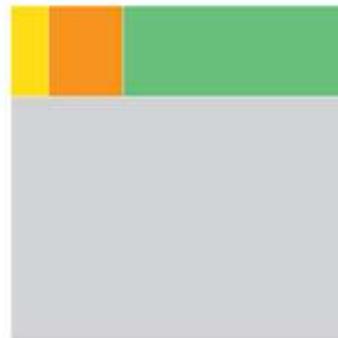
Répartition du productible en 2014

Solariation globale	0,7%
Taux d'énergie	87%
Improductif	85,0%
Solaire photovoltaïque	5,6%
Solaire thermique	0,2%
Biomasse	9,1%

2020 : situation projetée



Carré de 250 par 250 mètres autour de la halte Pajol en 2020



Répartition du productible en 2020

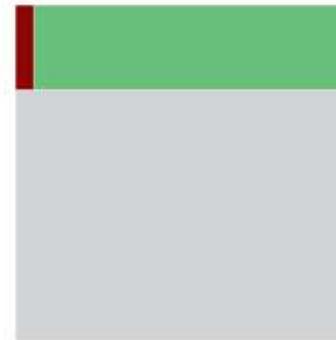
Solariation globale	1,8%
Taux d'énergie	42%
Improductif	73,2%
Solaire photovoltaïque	5,6%
Solaire thermique	3,0%
Biomasse	18,2%

Paris, Ile-de-France | 10kmx10km

Situation en 2009



Carré de 10 par 10 kilomètres autour de Paris



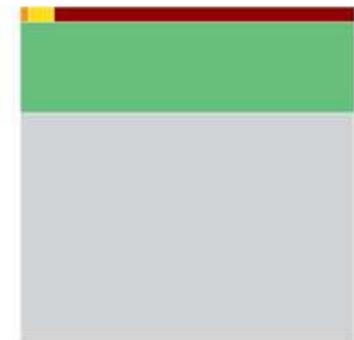
Répartition du productible en 2009

Solariation globale	0,8%
Taux d'énergie	20%
Improductif	75,3%
Solaire photovoltaïque	0,01%
Solaire thermique	0,01%
Biomasse	23,7%
Géothermie	0,80%

Potentiel 2020



Carré de 10 par 10 kilomètres autour de Paris, état projeté

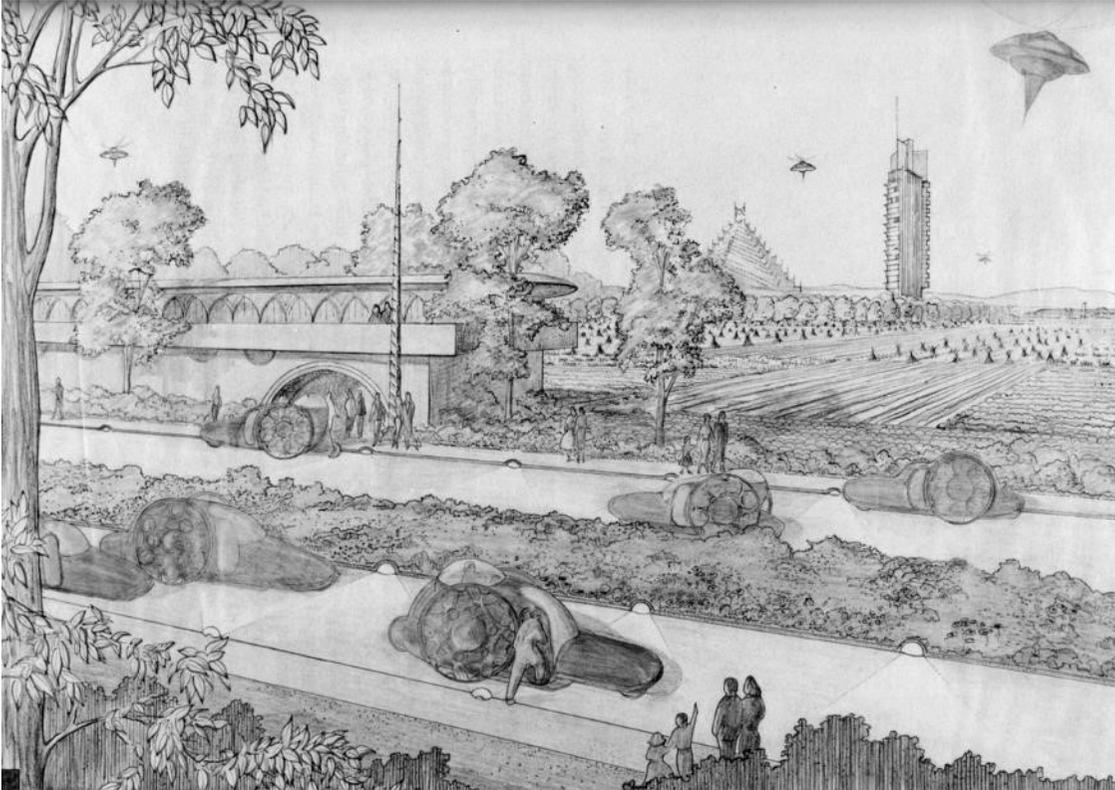


Répartition du productible projeté

Solariation globale	2,8%
Taux d'énergie	21%
Improductif	69,1%
Solaire photovoltaïque	0,3%
Solaire thermique	0,1%
Biomasse	28,5%
Géothermie	2,0%

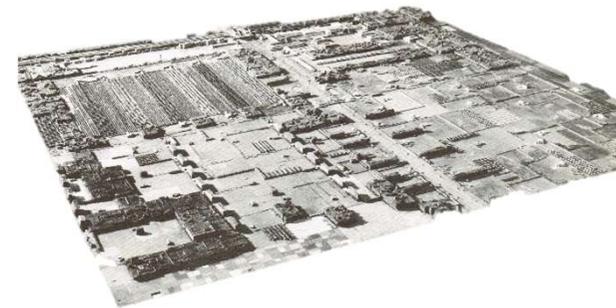
Broadacre City

La densité raisonnée et le bassin versant nécessaire



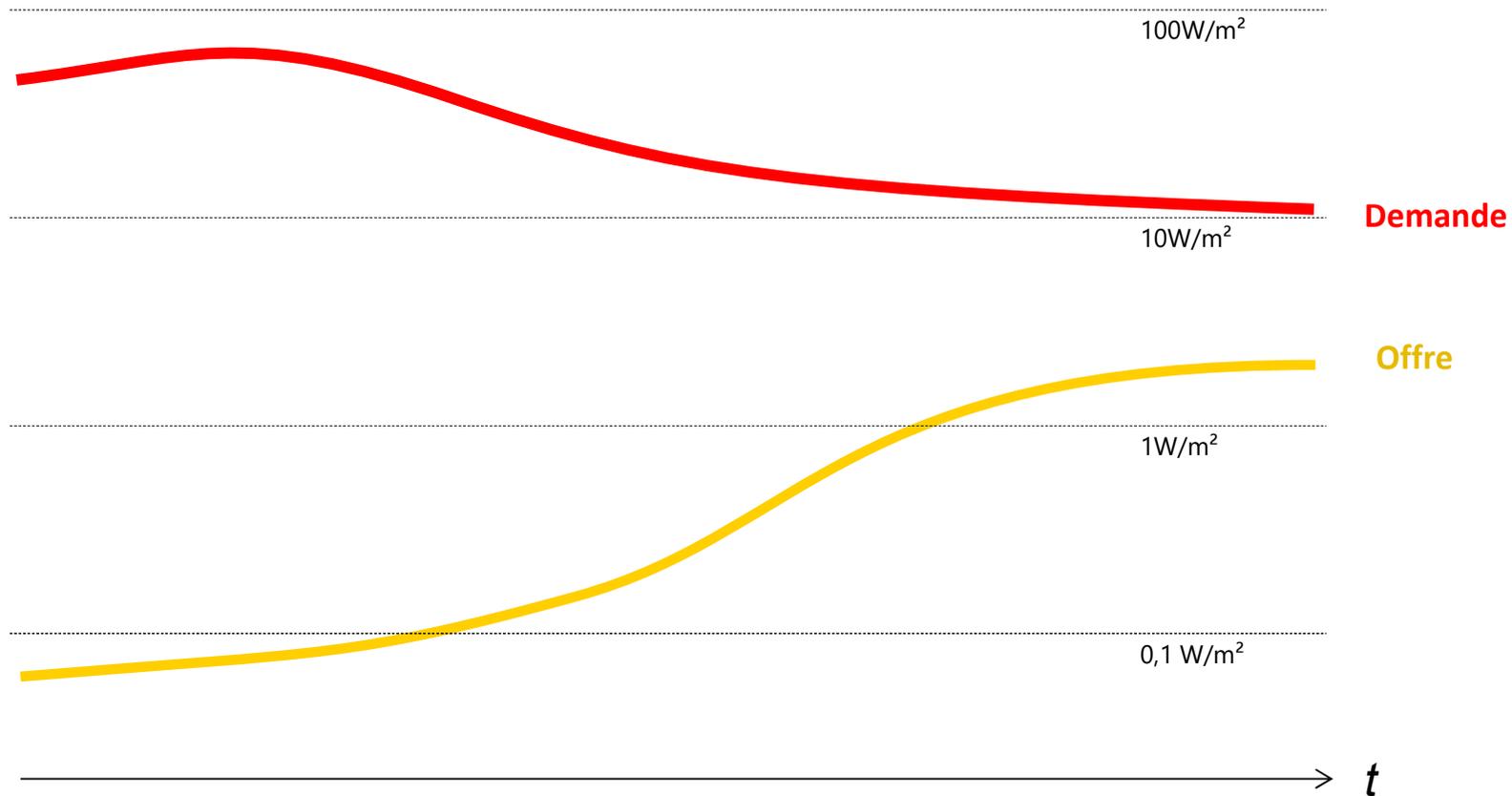
Frank Lloyd Wright, *Broadacre City*, 1932

Une maquette de 4 miles de côté pour présenter le projet. Un acre par famille soit environ 1'000m² par individu.



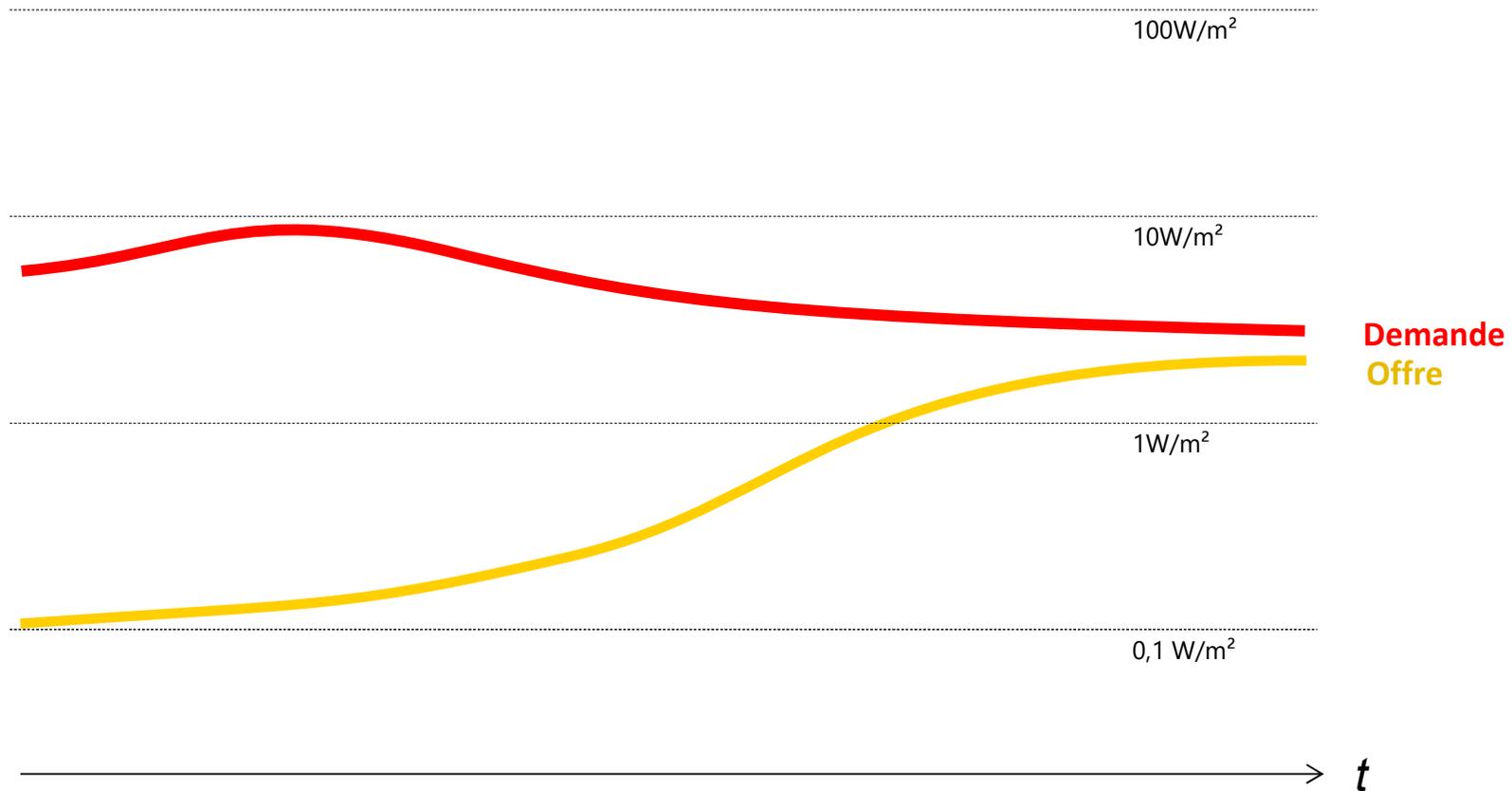
Scénario pour un territoire à **haute densité** [100 pers/ha]

La convergence n'est physiquement pas possible. La population est passée de 6'000W à 2'000W, la densité de demande a diminué de 60 à 20W/m². Dans un mouvement parallèle, la production locale d'énergies renouvelables a été très volontariste : la densité de production atteint 5W/m². La dépendance a été largement réduite, mais l'autonomie complète n'est pas possible.



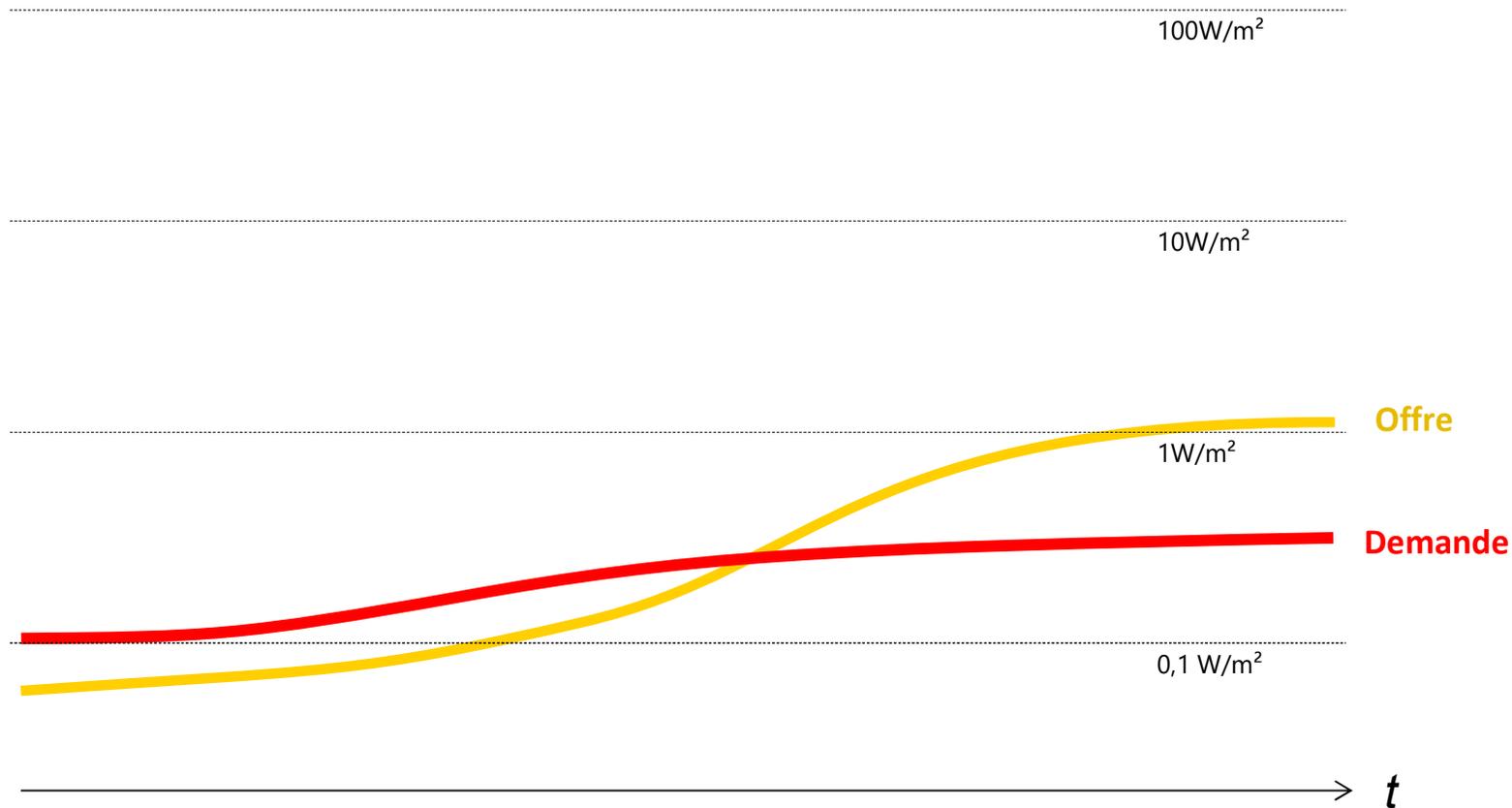
Scénario pour un territoire à **moyenne densité** [10pers/ha]

La population est passée de 6'000W à 4'000W, la densité de demande a diminué de 6 à 4W/m². Dans un mouvement parallèle, la production locale d'énergies a massivement augmenté : la densité de production atteint 3W/m². L'autonomie est désormais accessible.



Scénario pour un territoire à **faible densité** [100pers/km²]

Sur ce territoire, à l'inverse des autres scénarios, la densité de demande a augmenté du fait de l'augmentation du niveau de vie : passage d'une demande de 1'000W à 2'500W/m² (cas des pays émergents par exemple). La densité de demande grimpe ainsi de 0,1 à 0,3W/m². Toutefois, l'installation de capacité renouvelable a pu rattrapé cette densité de demande et le territoire devient producteur net d'énergie : le bassin versant potentiel pour un territoire dense débiteur !



3

Densités critiques selon le carbone

Atténuation CO2 et horizon du zero émission nette

↓ **Flux entrants**

Flux sortants ↑

Energie

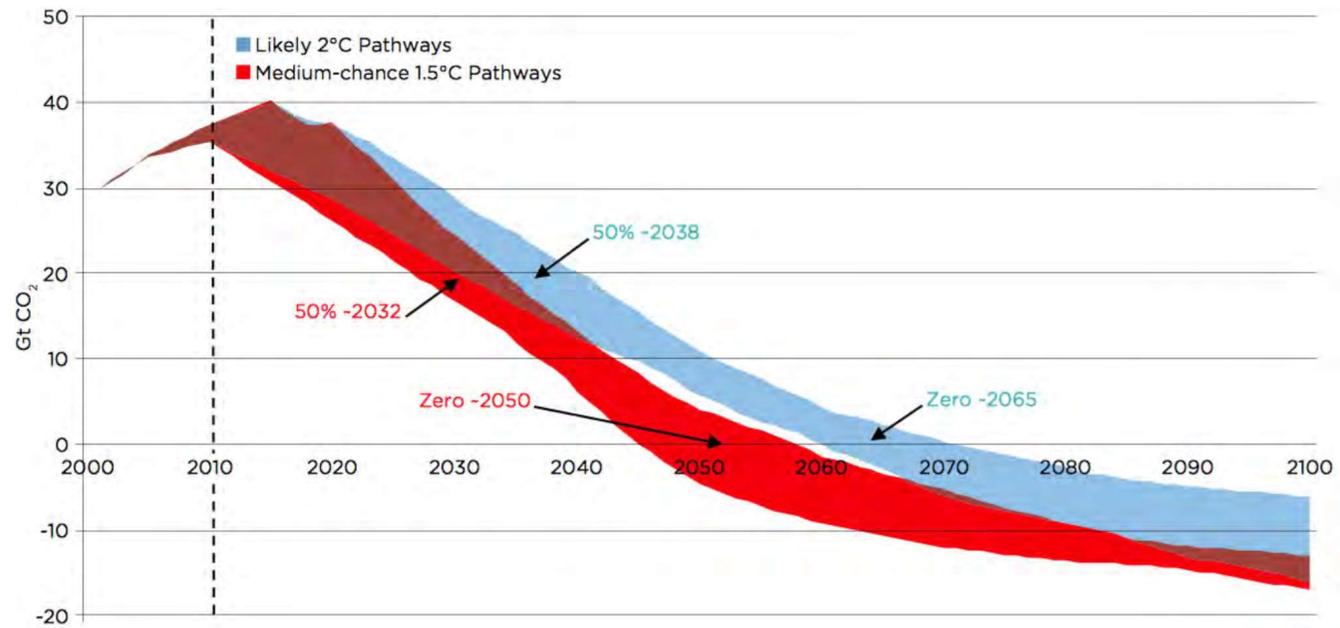
Production locale
d'énergies renouvelables

Demande énergétique
finale ou consommation
d'énergies

Carbone

Pompage de CO₂
atmosphérique et
séquestration carbone

Emissions de gaz à effet
de serre directes et/ou
indirectes



Source «the sky's the limit» http://priceofoil.org/content/uploads/2016/09/OI_the_skys_limit_2016_FINAL_2.pdf

↓ Flux entrants

Flux sortants ↑

Energie

Production locale
d'énergies renouvelables

Demande énergétique
finale ou consommation
d'énergies

Carbone

Pompage de CO₂
atmosphérique et
séquestration carbone

Emissions de gaz à effet
de serre directes et/ou
indirectes

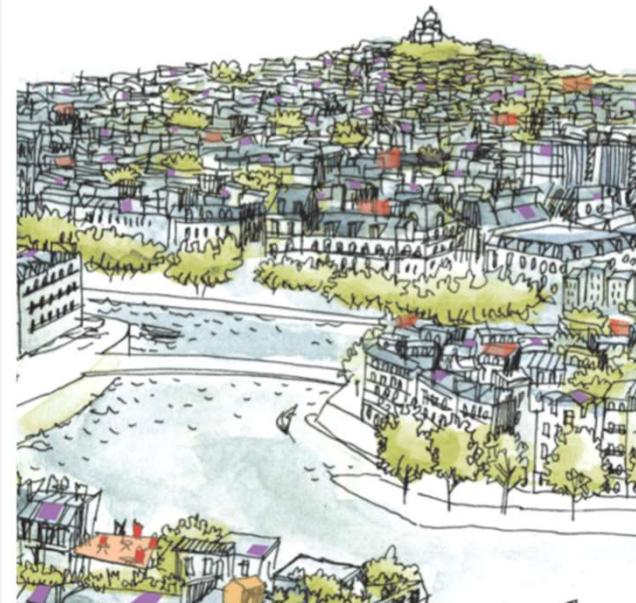
<http://paris2050.elioth.com/>

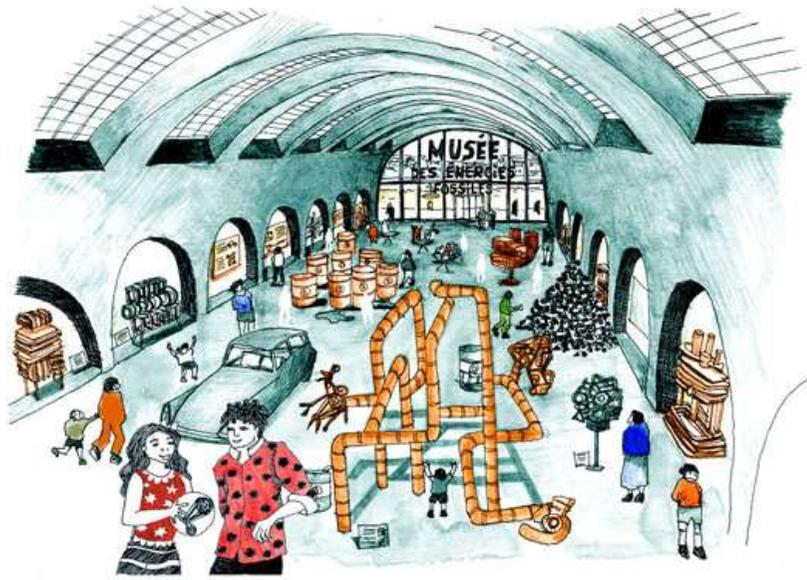
Un site dédié avec la totalité des 368 pages du rapport en téléchargement.

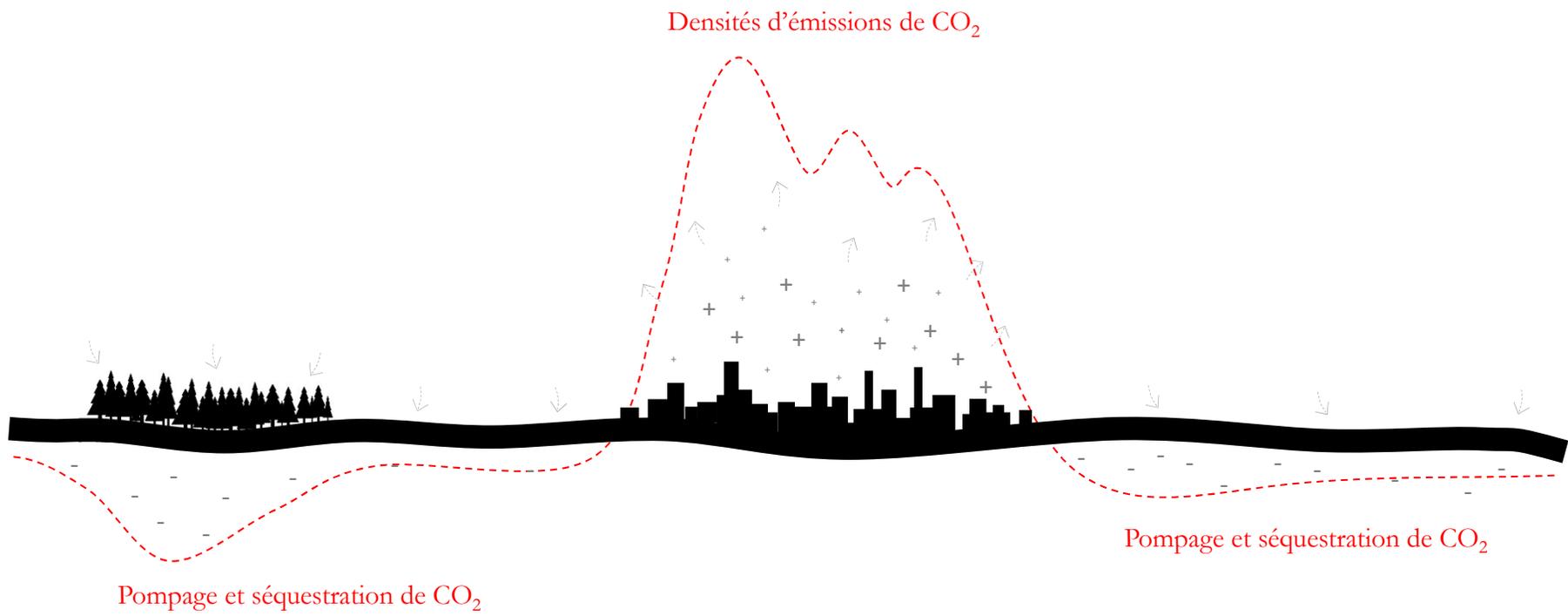
PARIS CHANGE D'ÈRE

Vers la neutralité carbone en 2050

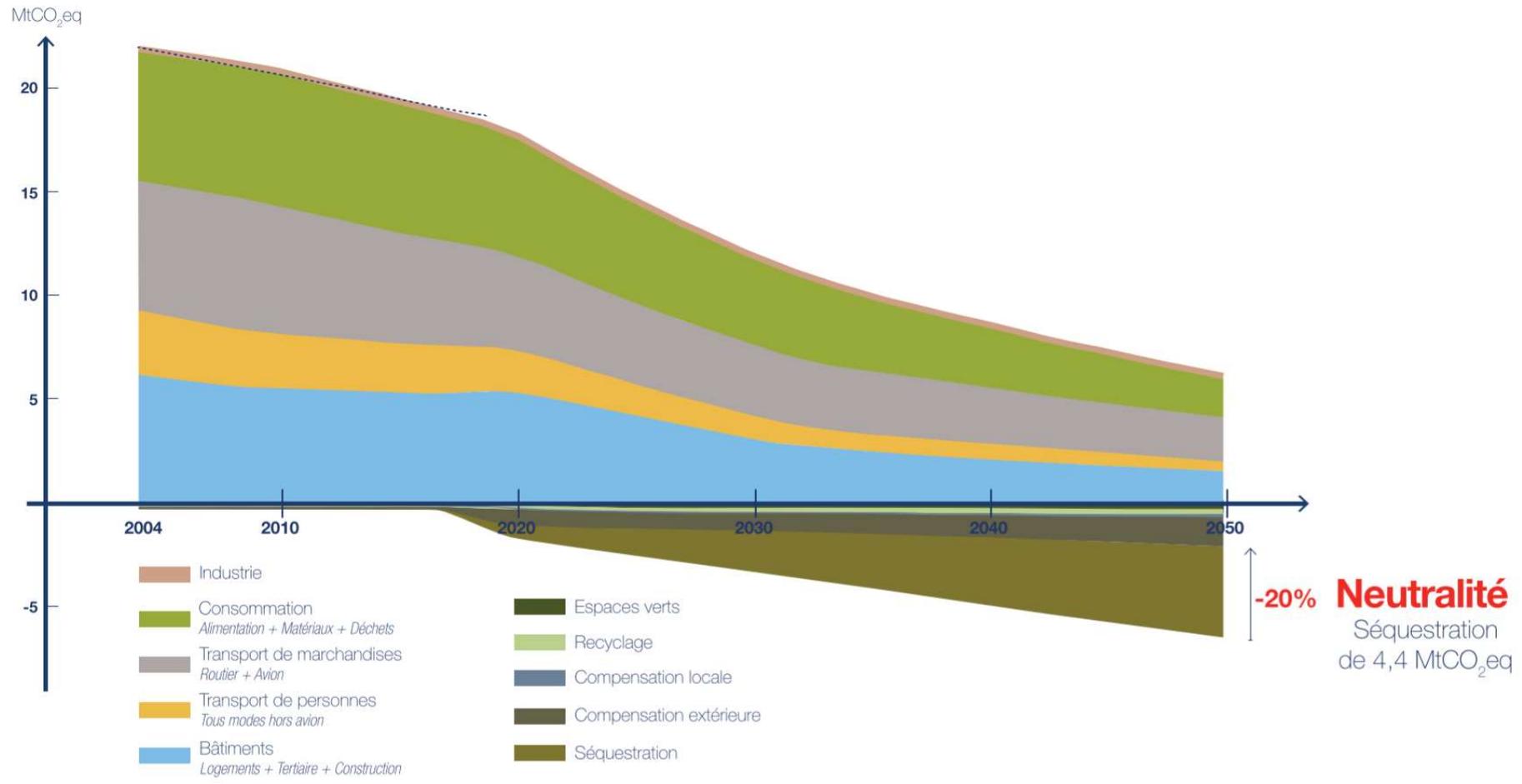
Rapport complet











De la « densité x2 »: d'usage des sols et d'usage du bâti

3

Energie Matière Architecture

Raphaël Ménard

Doctorat par VAE
Encadrant, Robert Le Roy
Accompagnateur, Marcel Pariat

4

5

Critical Densities of Energy Self-Sufficiency and Carbon Neutrality

Finding the routes to self-sufficiency. The end of the two-century long fossil fuel interlude. Creating a new global convergence, a myriad network of local self-sufficiency. What is the limiting balance between the consumption and collection of renewable flows? What is the density, the level curve of an energy topography that identifies self-sufficient regions? What are the good governance scales for orchestrating energy self-sufficiency and carbon neutrality?

5.1. Introduction

This chapter originates from a presentation made at the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne entitled “Territories with 1 watt”¹. Before this conference, in November 2015, Léo Benichou sent the following question to Fanny Lopez, Marc Barthelemy and me:

“[...] Inspired by Marc Barthelemy’s work on networks, Raphaël Ménard’s work on energy catchment areas, and of course Fanny Lopez’s work on the disconnection dream, I would like to raise the following question: Given the challenges of mobilizing solar (and derived) energy resources at the service of human societies. Given the infrastructures’ energy costs (fixed and mobile) that make it possible to collect, transform, store, transport and deliver energy carriers and services. [...] How can an optimal scale for the expansion and pooling of our energy infrastructures be determined? When sizing our

Chapter written by Raphael MÉNARD.

¹ In 2016 as part of the IDEAS doctoral seminars.

Avant Transition

Hypothèses sur les modes et le cadre de vie



Bâtiments (tous type) et usages

chauffage ou froid	250 kWh/m ² .an	200 grCO ₂ /kWh
ECS	15 kWh/j.pers	150 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	1200 kWh/pers.an	100 grCO ₂ /kWh
<small>* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce</small>		
énergie incorporée	1500 kWh/m ²	500 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	30 années	



Déplacement automobile hors loisirs et voyages

parc thermique	@ 97%	170 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 3%	15 kWh/100km 100 grCO ₂ /kWh



Type alimentation et contenu carbone typique

alimentation	2000 kgCO ₂ /pers.an
--------------	---------------------------------



Bâtiments (tous type) et usages



chauffage ou froid	250 kWh/m ² .an	200 grCO ₂ /kWh
ECS	15 kWh/j.pers	150 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	1200 kWh/pers.an	100 grCO ₂ /kWh
* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce		
énergie incorporée	1500 kWh/m ²	500 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	30 années	

Hypothèses sur les modes et le cadre de vie



Bâtiments (tous type) et usages

chauffage ou froid	250 kWh/m ² .an	200 grCO ₂ /kWh
ECS	15 kWh/j.pers	150 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	1200 kWh/pers.an	100 grCO ₂ /kWh
* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce		
énergie incorporée	1500 kWh/m ²	500 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	30 années	



Déplacement automobile hors loisirs et voyages

parc thermique	@ 97%	170 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 3%	15 kWh/100km 100 grCO ₂ /kWh



Type alimentation et contenu carbone typique

alimentation	2000 kgCO ₂ /pers.an
--------------	---------------------------------



Déplacement automobile hors loisirs et voyages



parc thermique	@ 97%	170 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 3%	15 kWh/100km 100 grCO ₂ /kWh



Type alimentation et contenu carbone tpyique

alimentation	2000 kgCO ₂ /pers.an
--------------	---------------------------------

Hypothèses sur les modes et le cadre de vie



Bâtiments (tous type) et usages

chauffage ou froid	250 kWh/m ² .an	200 grCO ₂ /kWh
ECS	15 kWh/j.pers	150 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	1200 kWh/pers.an	100 grCO ₂ /kWh
* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce		
énergie incorporée	1500 kWh/m ²	500 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	30 années	



Déplacement automobile hors loisirs et voyages

parc thermique	@ 97%	170 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 3%	15 kWh/100km 100 grCO ₂ /kWh



Type alimentation et contenu carbone tpyique

alimentation	2000 kgCO ₂ /pers.an
--------------	---------------------------------

Hypothèses sur les modes et le cadre de vie

Bâtiments (tous type) et usages

chauffage ou froid	250 kWh/m ² .an	200 grCO ₂ /kWh
ECS	15 kWh/j.pers	150 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	1200 kWh/pers.an	100 grCO ₂ /kWh
* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce		
énergie incorporée	1500 kWh/m ²	500 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	30 années	

Déplacement automobile hors loisirs et voyages

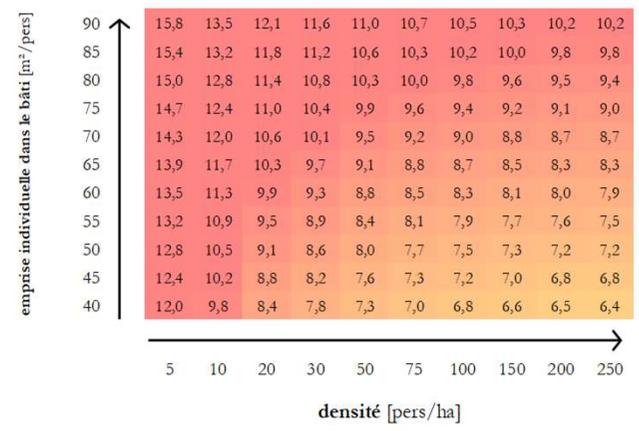
parc thermique	@ 97%	170 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 3%	15 kWh/100km 100 grCO ₂ /kWh

Type alimentation et contenu carbone typique

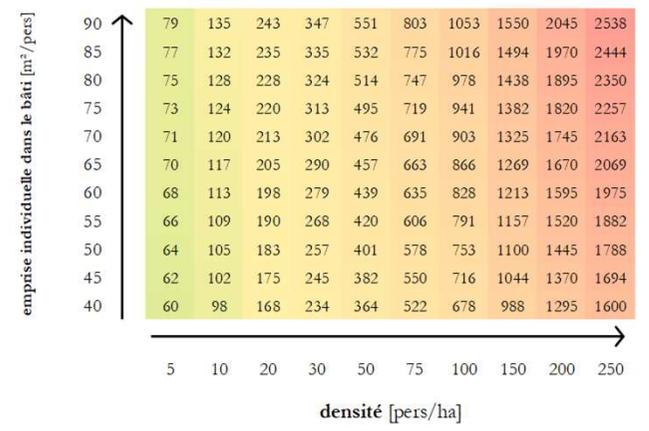
alimentation	2000 kgCO ₂ /pers.an
--------------	---------------------------------



Emissions de CO2 par personne [tCO2eq. par pers et par an]

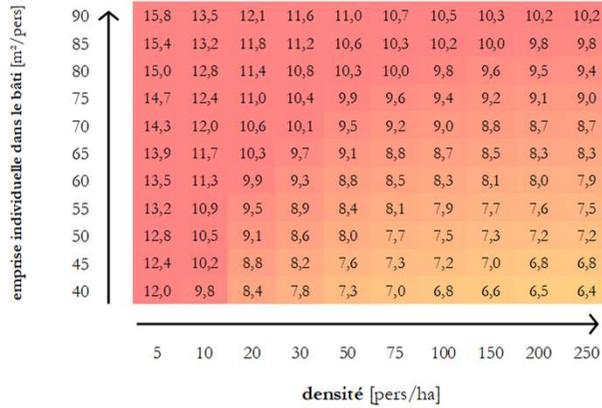


Emissions de CO2 par hectare [tCO2eq. par ha et par an]

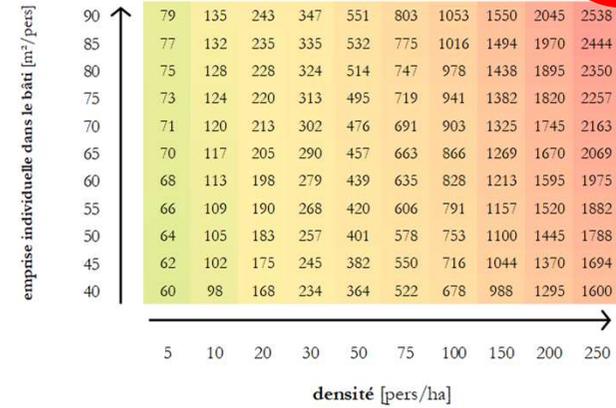


Avant Transition

Emissions de CO2 par personne [tCO2eq. par pers et par an]



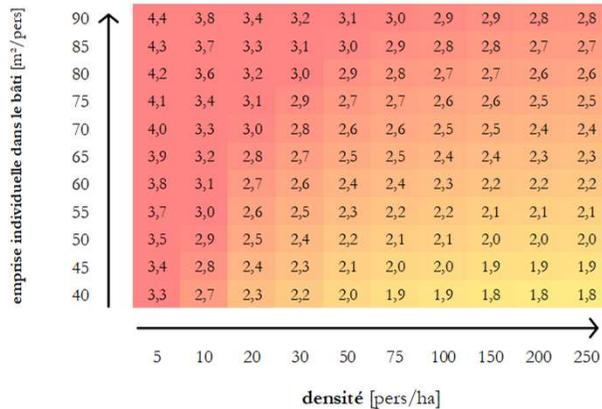
Emissions de CO2 par hectare [tCO2eq. par ha et par an]



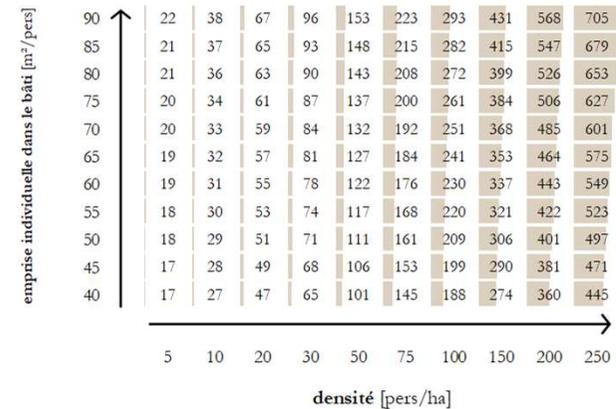
Hypothèse flux séquestré par une forêt convenablement exploitée 3,6 tCO2 par ha et par an



Surface nécessaire de séquestration [hectare par pers]



"Bassin versant séquestration" nécessaire [s.u.]



Post Carbone

Hypothèses sur les modes et le cadre de vie



Bâtiments (tous type) et usages

chauffage ou froid	50 kWh/m ² .an	40 grCO ₂ /kWh
ECS	10 kWh/j.pers	50 grCO ₂ /kWh
électricité spécifique*	800 kWh/pers.an	40 grCO ₂ /kWh
* sommes des demandes pour le résidentiel, le tertiaire et le commerce		
énergie incorporée	1000 kWh/m ²	100 grCO ₂ /kWh
obsolescence bâti	50 années	



Déplacement automobile hors loisirs et voyages

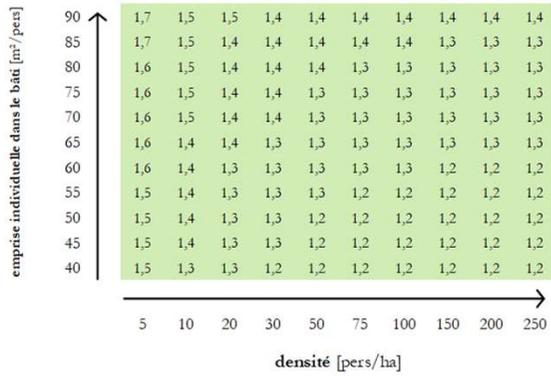
parc thermique	@ 3%	120 grCO ₂ /km
parc électrique	@ 97%	15 kWh/100km 40 grCO ₂ /kWh



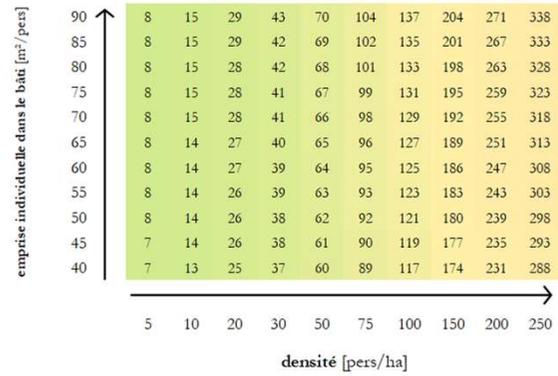
Type alimentation et contenu carbone typique

alimentation	750 kgCO ₂ /pers.an
--------------	--------------------------------

Emissions de CO2 par personne [tCO2eq. par pers et par an]



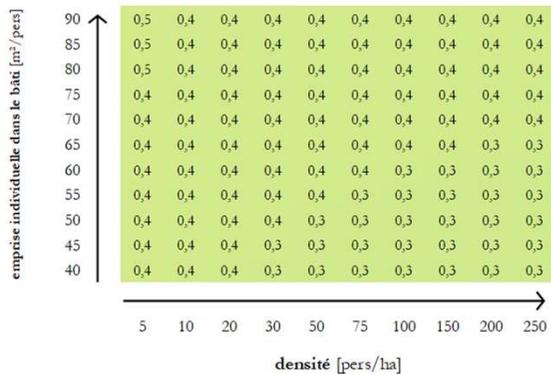
Emissions de CO2 par hectare [tCO2eq. par ha et par an]



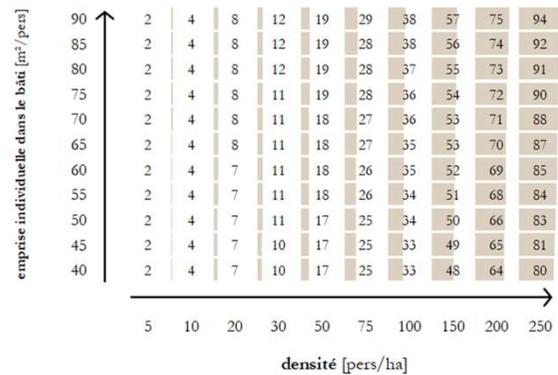
Hypothèse flux séquestré par une forêt convenablement exploitée 3,6 tCO2 par ha et par an 



Surface nécessaire de séquestration [hectare par pers]



"Bassin versant séquestration" nécessaire [s.u.]



4

Conclusion - Petits pays renouvelables

Enjeux politiques et d'aménagement

Géographies de l'autonomie et des interdépendances énergie, carbone et alimentation

5

Petits pays renouvelables

Pour une décentralisation du « net zéro » et pour la relocalisation des bassins versants écologiques au cœur des territoires, ou comment (re)donner le pouvoir aux zones de faible densité.

Zones agricoles, aires péri-urbaines, friches industrielles, massifs forestiers... Quels destins post-carbone pour les territoires les moins peuplés ? Au-delà de leur vocation souvent agricole et productive, ils sont pourtant nos futurs « bassins versants » d'énergie, de matériaux, comme nos puits de carbone.

Avant le 19^{ème} siècle, avant l'impasse de l'ère thermo-industrielle, les territoires de densité modérée étaient généralement autonomes vis-à-vis des principaux flux nécessaires à l'activité humaine : alimentation, eau, énergie, matériaux ... Le métabolisme était local, fortement circulaire et les flux entrants, principalement renouvelables (de la biomasse en majorité). Plus encore, souvent excédentaires en production par rapport à leurs besoins propres, ils constituaient les corolles d'abondance des villes et approvisionnaient les centres urbains. Avant les révolutions industrielles, avant la naissance de l'ère extractiviste (hydrocarbures, minerais), avant la mondialisation et la mise en réseau des stocks à l'échelle planétaire, ces régions étaient autant de « pays renouvelables », au sens de leur capacité à équilibrer besoin et production.

Aujourd'hui, il faut urgemment retrouver ce chemin : faire atterrir les besoins des zones denses [1-Pic choisi] et, en parallèle, prendre soin de ces bassins versants, les renforcer, en articulant leurs proximités et leurs symbioses. Ce sera la clé pour recomposer le puzzle cohérent de notre atterrissage planétaire. D'un point de vue démocratique, leurs habitants attendent d'être repositionnés au cœur du pacte social et fiers de participer au bien commun. Zones égarées dans la « diagonale du vide », franges péri-urbaines, la réparation du monde, la sortie de l'anthropocène passera d'abord par la reconfiguration de ces pays, plutôt que par les grands centres urbains, incapables physiquement d'un métabolisme autonome. Plutôt que des *smart cities*, nous avons besoin de bourgs et de hameaux au cœur des projets politiques : ils sont des leviers formidables pour les transitions et des lieux offrant davantage de libertés d'expérimentations. Il nous appartient de redécouvrir et révéler leur potentiel pour nourrir les zones denses : au sens alimentaire évidemment, mais aussi de tous les intrants (eau, matière, énergie etc.), comme la saine gestion des exutoires (réabsorption du CO₂, traitement des eaux et des matières utilisées etc.). Sans avoir la prétention d'être exhaustif sur la diversité des flux territoriaux, retenons que le mode d'occupation des sols est un enjeu considérable pour l'alimentation (A), l'autonomie énergétique (E) et la neutralité carbone (C). En relocalisant, en organisant des biorégions, c'est une myriade d'atterrissages locaux, plutôt que pour l'exemple de la neutralité carbone, un grand soir de la compensation par un projet de reforestation en Amazonie ou ailleurs (et encore moins du fait d'hypothétiques technologies de capture de gaz à effet de serre).

Avant la transition écologique

4 Avant transition, pour le premier besoin, l'alimentation, l'hopkinois a encore un régime largement carné et l'emprise nécessaire est alors de l'ordre de 4000 m² de surface agricole afin de subvenir à ses besoins en protéines. Évidemment une grande partie de la surface foncière dévolue à la chaîne de production alimentaire est associée aux pâturages nécessaires à l'alimentation des bovins, des ovins et des porcins et dans une moindre mesure, aux volailles.

5 Avant transition, pour ce qui concerne les besoins énergétiques, le flux moyen de consommation est de 6000 W, soit l'équivalent d'une consommation d'énergie primaire de l'ordre de 5000 kWh. Pour parvenir à composer un mix renouvelable équilibré, compensant les intermélanges des différentes énergies renouvelables, la surface nécessaire serait d'environ de 2000 m². Comme nous l'avons dit, cette surface peut sans doute largement se mutualiser avec la première, à savoir le foncier dédié à la production alimentaire : panneaux solaires sur les hangars de matériel agricole ou sur les serres, isolées dans les champs, bio-méthane issu des déchets de la production agricole etc.

6 Concomitamment l'objectif de neutralité carbone. l'équation devient par contre plus ardue. Avec une empreinte globale de près de 12 tonnes de CO₂ par an, l'hopkinois nécessite près de 3 hectares de forêt pour compenser ses émissions de gaz à effet de serre. En effet, une forêt durablement exploitée absorbe et séquestre l'équivalent de 3 à 5 tonnes de CO₂ contenu dans l'atmosphère par an.

7 A ce stade donc, la production annuelle de bois est de près de 10 m³ par habitant, autrement dit de gaz construite près de 30 m³ annuellement. C'est bien trop et Hopkins est excédentaire en production de bois, du fait de l'absence de neutralité carbone. L'objectif de compensation carbone par la séquestration ligneuse conduit à un excédent de production de bois (et qui n'est de ne pas brûler à des fins énergétiques sans qu'il le CO₂ soit rémis !)

8 A ce stade donc, la surface nécessaire par habitant serait donc de 3400 m² la (on part du principe que la production renouvelable serait installée sur les 4000 m² dédiés à la production alimentaire afin de compenser et d'équilibrer les besoins métaboliques. Nous pourrions aussi appliquer les principes d'agriculture sylvo-civile et cela permettrait éventuellement de réduire un peu l'empreinte spatiale globale.

9 A l'échelle donc de l'ensemble des habitants d'hopkins, la conciliation des bassins versants alimentaires, énergétiques et carbone conduit alors à une surface minimale de 220 km² soit près de 50 fois le bassin de vie d'hopkins. Sur l'ensemble de son territoire communal, Hopkins réclamerait donc 200 km² de surfaces complémentaires afin d'assurer l'autosuffisance alimentaire, énergétique et carbone de ses habitants. Deux options : ou bien Hopkins "tréflode" d'autres territoires (mais il y a alors risque de concurrence et d'incompatibilité écologique globale, ce que nous verrons ensuite) ou bien les habitants entendent tous une transition collective.

Pendant la transition

10 Nous choisissons pour ce récit d'opter pour la seconde option. Pendant la transition sur quelques années, la surface nécessaire, la somme des bassins versants, est passée à 110 km². Hopkins débordé toujours de 90 km².

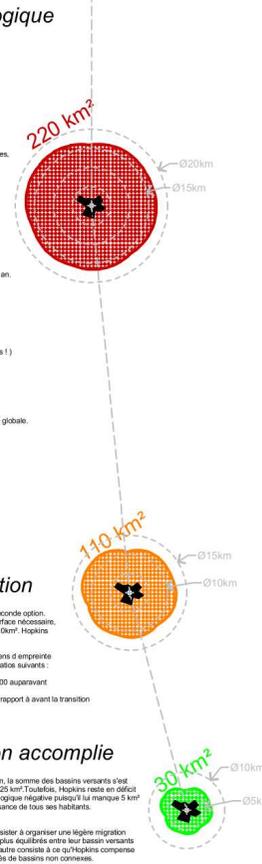
Dans ce régime intermédiaire, les curseurs moyens d'empreinte écologique de chaque habitant correspond aux ratios suivants :
 - Alimentation moins carnée : 2000 m² contre 4000 auparavant
 - Énergie : 4000 W contre 6000 avant transition
 - Carbone : 6 tonnes de CO₂ soit déjà -50% par rapport à avant la transition

Transition accomplie

11 A terme, après transition, la somme des bassins versants s'est réduite et est passée à 30 km². Toutefois, Hopkins reste en déficit spatial, sa balance écologique négative puisqu'il lui manque 5 km² pour assurer l'autosuffisance de tous ses habitants.

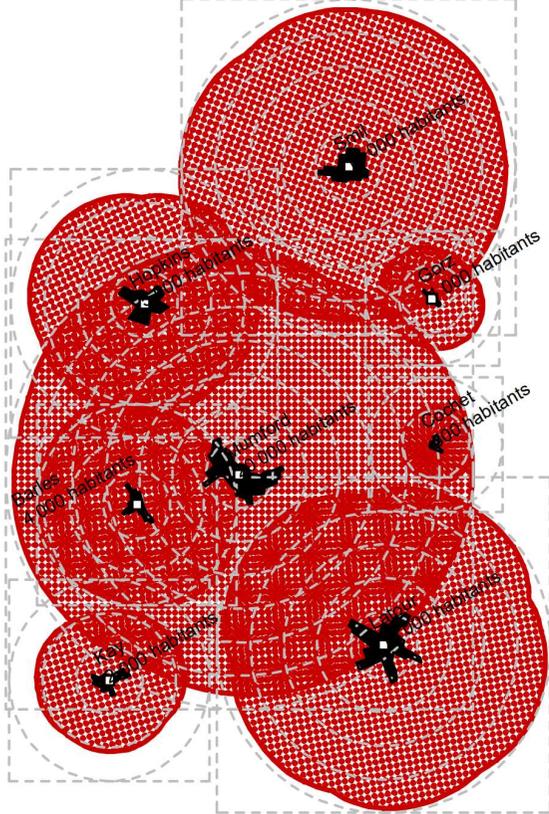
12 Une option pourrait consister à organiser une légère migration vers d'autres territoires plus équilibrés entre leur bassin versant et leur bassin de vie. L'autre consiste à ce qu'Hopkins compense par des échanges auprès de bassins non connectés.

13 En tout cas, ce premier exemple illustre la nécessité d'analyser à l'échelle communale la bonne cohérence et de limiter la superposition des bassins versants de chaque bassin de vie.

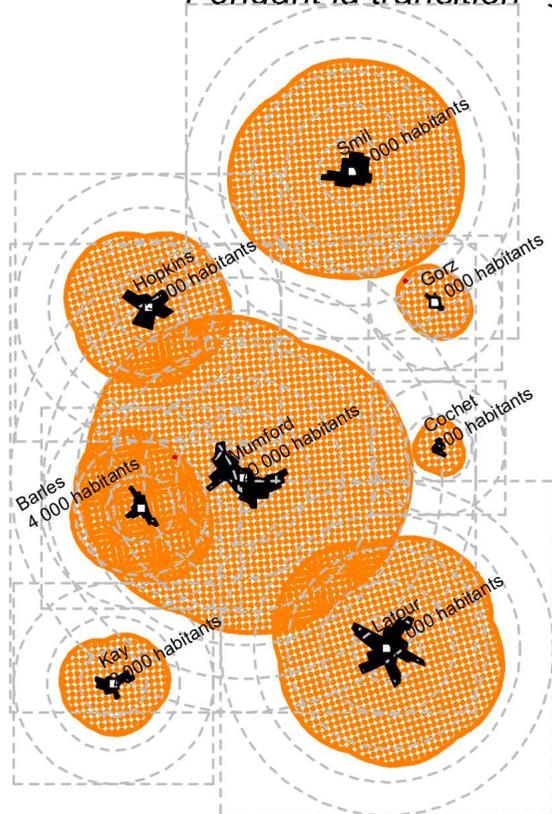


Bassins versants écologiques

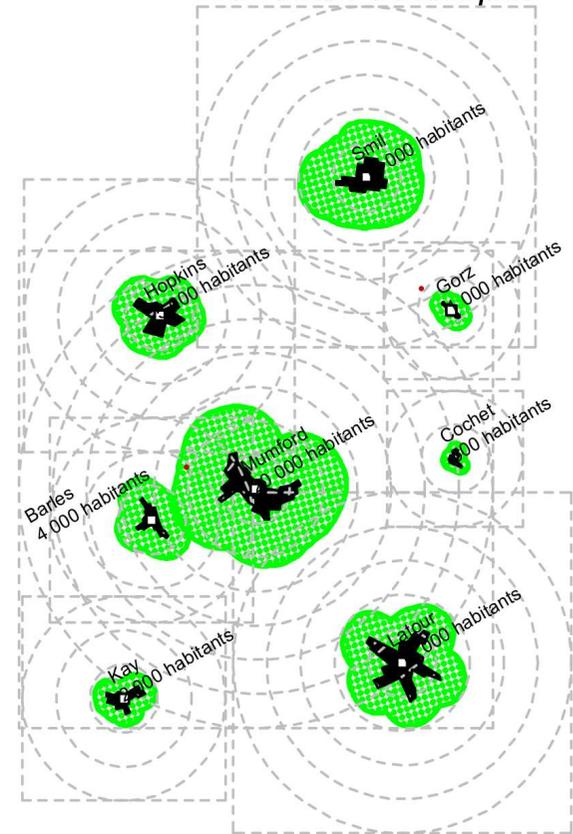
Avant la transition écologique



Pendant la transition



Transition accomplie



merci.

GEOGRAPHIES

DE LA

TRANSITION ECOLOGIQUE

BASSINS VERSANTS POUR L'AUTOSUFFISANCE ALIMENTAIRE, ENERGETIQUE ET CARBONE

1 LE RECIT D'HOPKINS VILLE DE 5000 HABITANTS

1. Le récit d'Hopkins est basé sur l'histoire d'une petite ville. Celle-ci a été créée en 1945 et a connu une croissance démographique importante. Elle a été construite sur un terrain plat, ce qui a permis de construire des logements à faible coût.
 2. La population est de 5000 habitants.
 3. Le récit d'Hopkins, pour être réaliste, doit prendre en compte les besoins en énergie, en eau, en nourriture, en logement, en transport, en éducation, en santé, etc. Ces besoins sont liés à la production et à la consommation de biens et de services.
- Voici la liste des bassins et des écosystèmes qui sont analysés dans le récit d'Hopkins :
- pour l'alimentation (A)
 - pour les services écosystémiques (S)
 - pour les services sociaux (C)
 - pour les services culturels (E)
 - pour les services récréatifs (R)
 - pour les services de régulation (G)
 - pour les services de soutien (B)
- Les deux bassins suivants correspondent à une ville de 5000 habitants :
- le bassin de la ville de 5000 habitants (A)
 - le bassin de la ville de 5000 habitants (S)
- Les bassins suivants correspondent à une ville de 10000 habitants :
- le bassin de la ville de 10000 habitants (A)
 - le bassin de la ville de 10000 habitants (S)



Avant la transition écologique

Avant la transition écologique, la ville de 5000 habitants est représentée par un bassin de 5 km². Ce bassin est insuffisant pour répondre aux besoins de la ville en matière de logement, de nourriture, de services, etc. La ville doit donc étendre son territoire pour accéder à ces ressources.

Pendant la transition, la ville de 5000 habitants est représentée par un bassin de 10 km². Ce bassin est toujours insuffisant pour répondre aux besoins de la ville. La ville doit donc continuer à étendre son territoire.

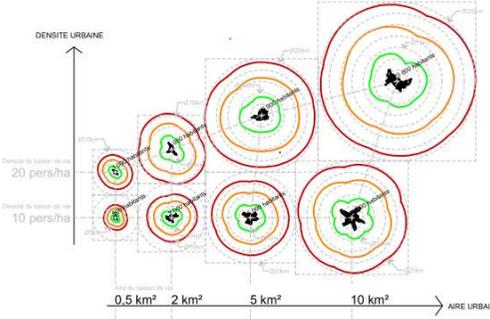
Transition accomplie, la ville de 5000 habitants est représentée par un bassin de 220 km². Ce bassin est suffisant pour répondre aux besoins de la ville en matière de logement, de nourriture, de services, etc. La ville n'a plus besoin d'étendre son territoire.

Transition accomplie, la ville de 10000 habitants est représentée par un bassin de 110 km². Ce bassin est suffisant pour répondre aux besoins de la ville en matière de logement, de nourriture, de services, etc. La ville n'a plus besoin d'étendre son territoire.

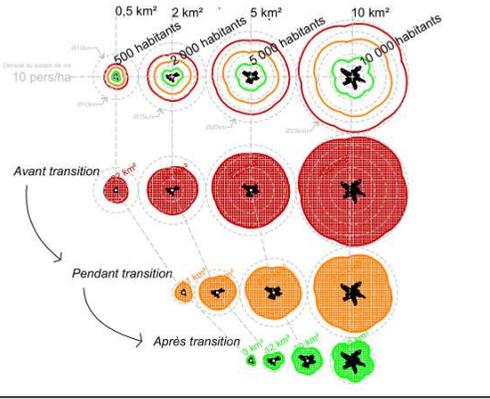
Transition accomplie, la ville de 20000 habitants est représentée par un bassin de 55 km². Ce bassin est suffisant pour répondre aux besoins de la ville en matière de logement, de nourriture, de services, etc. La ville n'a plus besoin d'étendre son territoire.

Transition accomplie, la ville de 50000 habitants est représentée par un bassin de 22 km². Ce bassin est suffisant pour répondre aux besoins de la ville en matière de logement, de nourriture, de services, etc. La ville n'a plus besoin d'étendre son territoire.

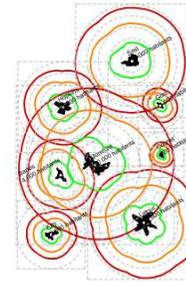
2 LE DIAGRAMME AIRE URBAINE - DENSITE ET BASSINS VERSANTS



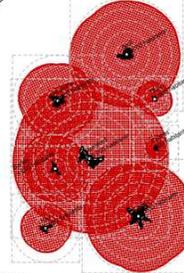
3 UN EXEMPLE EVOLUTION DES BASSINS VERSANTS A ISO-DENSITE



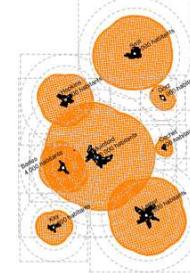
4 LA CARTE CONCURRENCE DES SOLS ET CONVERGENCE ECOLOGIQUE



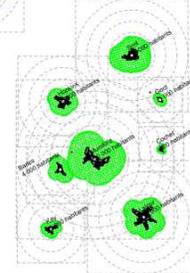
Avant la transition écologique

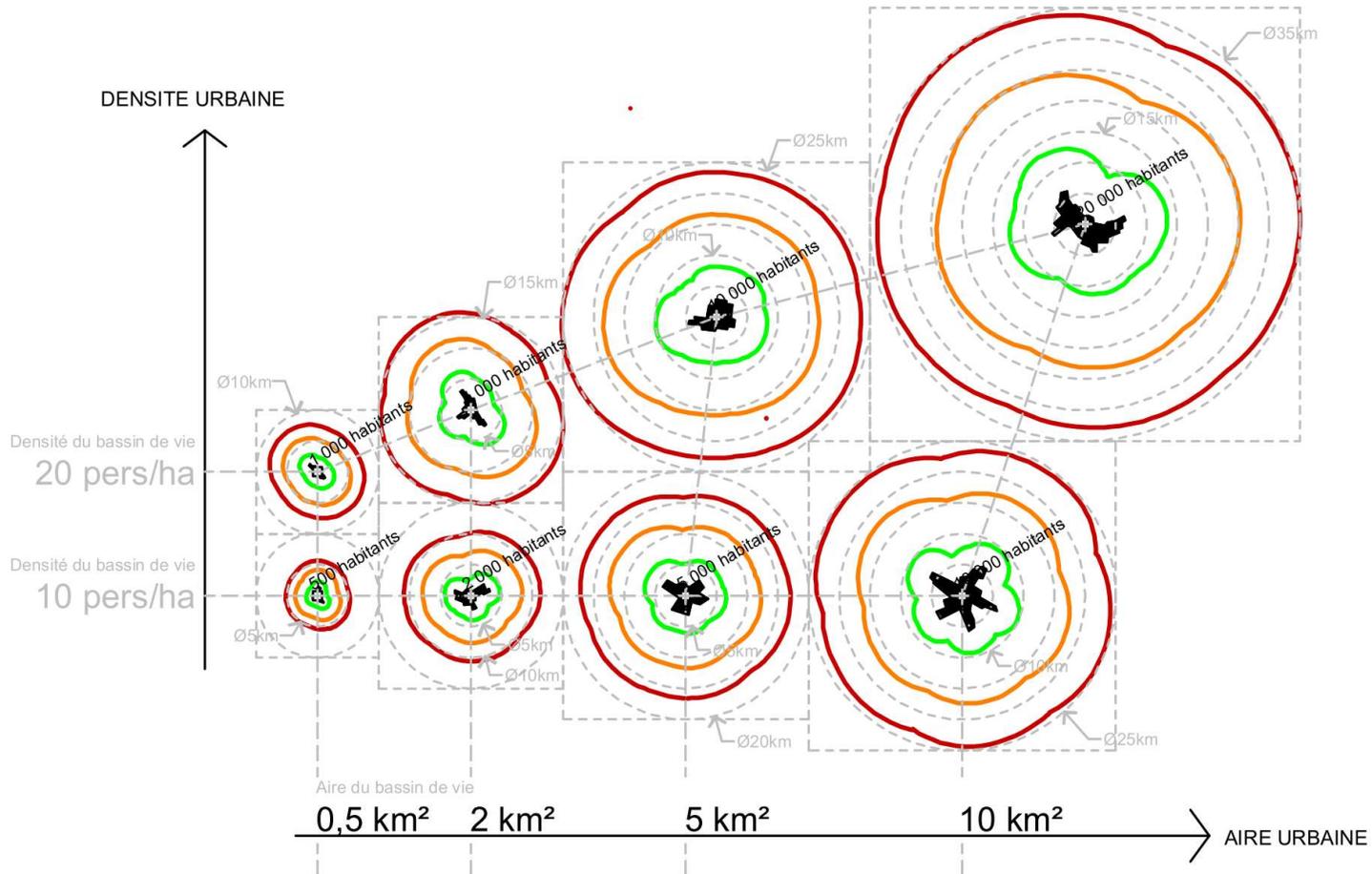


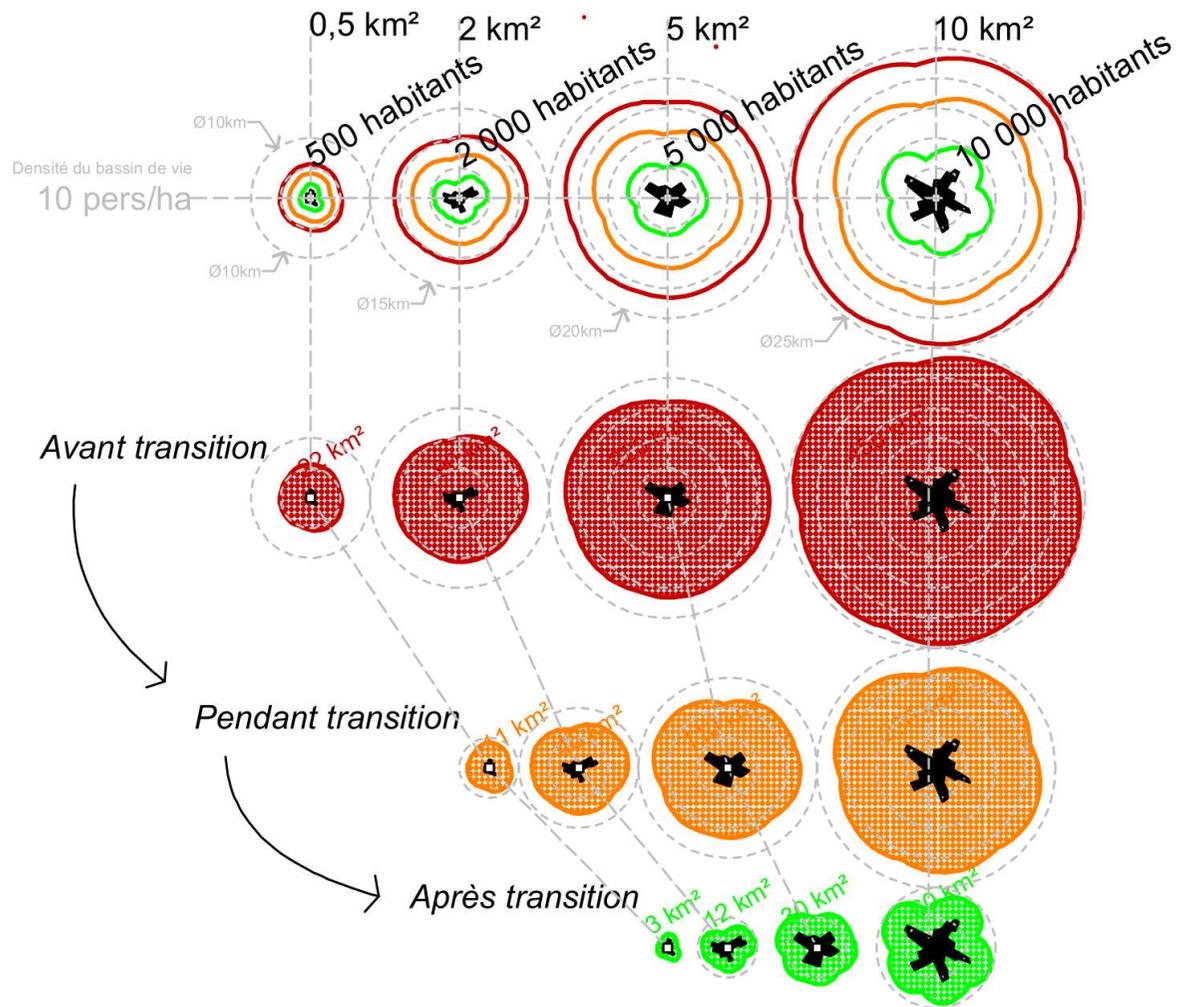
Pendant la transition



Transition accomplie







Bibliographie

- HOPKINS Rob. *Manuel de Transition De la dépendance au pétrole à la résilience locale*. Montréal, Canada : écosociété, Guides Pratiques, 2010
- LOPEZ Fanny. *Le Rêve d'une déconnexion. De la maison à la cité auto-énergétique*, La Villette, 2014
- MAC KAY David JC., *L'Énergie durable, pas que du vent*, Oxford, De Boeck, 2012. Titre original: *Sustainable Energy - Without the hot air*. Cambridge, UIT Cambridge, 2009
[David MacKay FRS: : Contents \(withouthotair.com\)](http://withouthotair.com)
- NEWMAN P., KENWORTHY J., *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*, Brookfield, Gower Publishing, 1989
- REY Olivier, *Une question de taille*, Stock, 2014
- SMIL Vaclav, *Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses*, MIT Press, 2015
- [synthese-scenario-negawatt-2022.pdf](#)