



**HAL**  
open science

## Projet SOFT

Olivier Bonin, Patricia Bonneau, Milan Clerc, Julie Cousin, Pierre Frankhauser, Bernard de Gouvello, Maud Haffner, Xavier Lehmann, Rémi Pioli, Maylis Poirel, et al.

► **To cite this version:**

Olivier Bonin, Patricia Bonneau, Milan Clerc, Julie Cousin, Pierre Frankhauser, et al.. Projet SOFT. [Rapport de recherche] ThéMA, UMR 6049; Institut pour la Transition Energétique, Efficacity; LVMT. 2020, 214 p. hal-03111221

**HAL Id: hal-03111221**

**<https://hal.science/hal-03111221v1>**

Submitted on 15 Jan 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Projet SOFT

## sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport

---



EXPERTISES

---

Jun  
2020

## REMERCIEMENTS

A Christelle BORTOLINI, qui a assuré le suivi de ce projet  
à l'ensemble des membres de ThéMA, d'Efficity et du LVMT.

## CITATION DE CE RAPPORT

**Olivier Bonin, Patricia Bonneau, Milan Clerc, Julie Cousin, Pierre Frankhauser, Bernard de Gouvello, Maud Haffner, Xavier Lehmann, Rémi Pioli, Maylis Poirel, Vaclav Stransky, Mariane Thébert.** 2020. **Projet SOFT : sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport**, 214 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### Ce document est diffusé par l'ADEME

#### ADEME

20, avenue du Grésillé  
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1717C0003

Projet de recherche coordonné par : Olivier BONIN  
Appel à projet de recherche : MODVAL-URBA

Coordination technique - ADEME : Christelle BORTOLINI, Pôle Aménagement des Villes et des Territoires (PAVT)  
Direction/Service : Direction Adaptation, Aménagement et Trajectoires bas carbone (DAAT)

# SOMMAIRE

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ÉLÉMENTS DE DIAGNOSTIC</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1. Potentiel d'énergies renouvelables et réseaux</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2. Participation des grands projets à la stratégie énergétique du territoire</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3. État des lieux transport</b> .....	<b>20</b>
2.3.1. Le réseau TC .....	20
2.3.2. Le réseau de la voirie .....	24
2.3.3. Synthèse.....	26
<b>2.4. Espaces naturels, paysage, îlots de chaleur et coupures urbaines</b> .....	<b>26</b>
2.4.1. Espaces verts.....	26
2.4.2. Coupures urbaines .....	26
2.4.3. Îlots de chaleur urbains.....	27
<b>2.5. Analyse des mobilités résidentielles à Est-Ensemble</b> .....	<b>29</b>
2.5.1. Profils socioéconomiques des dernier arrivés sur le territoire .....	29
2.5.2. Mobilité domicile-travail.....	33
<b>3. METHODE DE SCENARISATION GENERALE</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1. Exercice de prospective sur les questions de ville et d'énergie</b> .....	<b>35</b>
3.1.1. Analyse structurelle .....	35
3.1.2. Liste des variables retenues .....	35
3.1.2.1. Variables à expliquer.....	35
3.1.2.2. Variables explicatives.....	36
3.1.3. Matrice d'adjacence : relations entre les variables .....	37
3.1.4. Analyse de la matrice d'adjacence du graphe des relations entre variables .....	38
3.1.5. Enseignements pour la modélisation.....	40
<b>3.2. Proposition d'un cadre formel de construction de scénarios intégrant le concept de sobriété</b> .....	<b>41</b>
3.2.1. Accessibilité.....	41
3.2.2. Agriculture.....	42
3.2.3. Production d'énergie.....	43
3.2.4. Comportements de consommation .....	44
3.2.5. Mobilité.....	45
3.2.6. Positionnement d'Est-Ensemble dans la grille d'analyse .....	46
<b>3.3. Macros-scénarios pour Est-Ensemble</b> .....	<b>47</b>
3.3.1. Scénario 1 : Transition par l'incitation .....	48
3.3.1.1. Dispositif d'incitation : récompense en monnaie locale des actions en faveur la transition.....	48
3.3.1.2. Valorisation de l'économie locale : renforcement du circuit de la monnaie locale.....	48
3.3.1.3. Énergie : Valorisation de l'action des associations citoyennes .....	49
3.3.1.4. Mobilité : développement des mobilités douces à l'aide des associations .....	50
3.3.2. Scénario 2 : Ville Connectée.....	50

3.3.2.1.	Dispositif d'incitation : récompenses en titres de transport et éco-chèques utilisables pour les travaux de rénovation et l'installation de panneaux solaires .....	50
3.3.2.2.	Valorisation de l'économie locale : création de pôles d'activité et d'innovation sur le territoire	50
3.3.2.3.	Énergie : développement massif de la production d'énergies renouvelables par des entreprises locales	51
3.3.2.4.	Mobilité : renforcement de l'offre de transports collectifs lourds pour connecter le territoire à l'agglomération.....	52
3.3.3.	Scénario 3 : Village autonome .....	52
3.3.3.1.	Valorisation de l'économie locale : intégration de la pêche dans le fonctionnement des collectivités locales .....	52
3.3.3.2.	Énergie : production et autoconsommation de l'énergie par quartiers – rénovation participative des logements.....	52
3.3.3.3.	Dispositif d'incitation : rémunération des habitants participant au bon fonctionnement des quartiers	52
3.3.3.4.	Mobilité : développement conséquent des modes doux et des lignes de bus locales .....	53
3.3.4.	Synthèse sur les scénarios.....	53

#### **4. LA SOBRIETE PAR LES COMPORTEMENTS : L'IMPULSION DES CITOYENS ET DES ASSOCIATIONS ..... 54**

4.1.	Introduction.....	54
4.2.	Recensement des initiatives : de la liste à une lecture en termes de cycle inscrit dans le local.....	54
4.3.	Montreuil est-elle à part ? Comparer les tissus associatifs.....	56
4.4.	Construction des liens et des territoires de l'action : la cartographie des partenariats .....	61
4.5.	Conclusion : modèle transférable ou totalement ancré ? .....	62
4.6.	Tableau des correspondances entre offre classique et offre alternative .....	63

#### **5. AGRICULTURE URBAINE ET ENERGIE : RECYCLAGE DES EXCRETA ET FORME URBAINE 65**

5.1.	Introduction.....	65
5.2.	Les excreta humains comme ressource potentielle pour l'agriculture de proximité.....	65
5.2.1.	Des opportunités inexploitées face à des enjeux vitaux : une situation paradoxale .....	65
5.2.2.	Le poids de l'histoire et de la culture .....	67
5.2.3.	De quoi parle-t-on, au juste ? .....	69
5.2.4.	Un foisonnement d'approches et de techniques.....	70
5.2.5.	Conclusion.....	76
5.3.	Vers une révolution du statut des excreta en milieu urbain ? Dynamiques et freins .....	76
5.3.1.	Quelle valorisation des excréta par l'agriculture urbaine à Est-Ensemble ? — état des lieux .....	77
5.3.2.	Rapide tour d'horizon, en France et à l'étranger, d'expériences collectives... ..	80
5.3.3.	...et individuelles : le « phénomène permaculturel ».....	83
5.3.4.	Mais alors, où est-ce que « ça coince » ?.....	89
5.3.5.	Conclusion.....	90
5.4.	Recycler (plus ou moins) localement les excreta en ville : un défi pour les formes urbaines .....	90
5.4.1.	Anticiper le verrou spatial .....	90
5.4.2.	Quantifier les besoins .....	92
5.4.3.	Atouts spatiaux d'Est-Ensemble.....	93
5.4.4.	Question de densités .....	94
5.4.5.	Fractalité, circularité, sobriété ? .....	95
5.5.	Conclusion .....	96

<b>6.</b>	<b>SCENARIOS D'USAGE DU SOL : FRACTALOPOLIS, CONCEPT D'AMENAGEMENT ASSISTE PAR LES FRACTALES .....</b>	<b>100</b>
6.1.	Les enjeux de la gestion durable des zones métropolitaine .....	100
6.2.	Le concept <b>fractalopolis</b> .....	102
6.2.1.	Le zonage <b>fractalopolis</b> .....	103
6.2.2.	Le système de codage et le modèle de répartition des ménages .....	104
6.3.	Approche par l'accessibilité .....	107
6.3.1.	Accessibilité à la Hansen .....	108
6.3.2.	Introduction d'un zonage multi-échelle pour le calcul des accessibilités .....	109
6.3.3.	Sélection des destinations et des aménités : grille d'analyse croisant besoins et aménités à différentes échelles spatiales et temporelles.....	110
6.3.4.	Élaboration d'une typologie hiérarchisée des aménités.....	113
6.3.5.	Mesure synthétique de l'accessibilité .....	115
6.3.6.	Choix des valeurs de distance d'accès et d'importance des aménités .....	118
6.4.	Perspectives d'évaluation économique pour les commerces et services.....	123
6.4.1.	Évaluation des aires de rentabilité des aménités .....	123
6.4.2.	Emplois et surfaces d'activité.....	124
6.4.3.	Application sur le territoire d'Est Ensemble.....	125
<b>VI.</b>	<b>MISE EN ŒUVRE A L'ECHELLE DE L'AGGLOMERATION ET POUR EST ENSEMBLE.....</b>	<b>127</b>
6.5.	Evolution du logiciel de simulation <b>fractalopolis</b> et création d'un système d'information géographique .....	127
6.6.	Zonages et évaluation à l'échelle de l'agglomération .....	128
6.7.	Préservation des trames bleues et vertes.....	132
6.8.	Scénarisation des évolutions de population et des espaces verts .....	139
6.8.1.	Modèle 1 : Mise en évidence des disparités .....	139
6.8.2.	Modèle 2 concentration des logements dans les zones développement.....	141
6.8.3.	Modèle 3 situation future selon prévision INSEE avec concentration des logements dans les zones développement et développement de la périphérie .....	144
6.9.	Calculs des accessibilités .....	145
6.9.1.	Modèle 2 : concentration des logements dans les zones développement.....	147
6.9.1.1.	Aperçu.....	147
6.9.1.2.	Evaluation des services et commerces .....	149
6.9.1.3.	Évaluation des zones de loisirs/zones vertes.....	151
6.9.2.	Modèle 3 : situation future selon prévision INSEE avec concentration des logements dans les zones développement et développement de la périphérie .....	153
6.9.2.1.	Aperçu.....	153
6.9.2.2.	Évaluation des services et commerces .....	155
6.9.2.3.	Évaluation des zones de loisirs/zones vertes.....	157
6.9.3.	Conclusion.....	159
<b>7.</b>	<b>ÉVALUATION DES MOBILITES : MOBISIM-SOFT .....</b>	<b>160</b>
7.1.	Présentation de mobisim-SOFT .....	160
7.1.1.	Données nécessaires au modèle.....	160
7.1.2.	Paramétrage du modèle .....	162
7.1.2.1.	Elaboration des plannings d'activités .....	162

7.1.2.2.	Détermination du choix modal .....	164
7.2.	Rappel de la répartition des populations selon les trois scénarios définis par le projet.....	165
7.3.	Analyse des parts modales.....	169
7.4.	Distances totales parcourues .....	172
<b>8.</b>	<b>PROSPECTIVE : RECONFIGURATION DES RESEAUX ELECTRIQUES EN VUE DE L'AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE .....</b>	<b>174</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSION / PERSPECTIVES.....</b>	<b>179</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>180</b>
	<b>INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....</b>	<b>190</b>
<b>10.</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>194</b>
10.1.	ANNEXE 1 .....	194
10.2.	ANNEXE 2 .....	198
10.3.	ANNEXE 3 .....	204
10.4.	ANNEXE 4 .....	206
	Typologie des commerces et services par motifs de déplacement.....	206
	<b>SIGLES ET ACRONYMES .....</b>	<b>211</b>

## RÉSUMÉ

Le projet SOFT, sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport, a abordé la question de la stratégie énergétique d'un territoire à l'aide d'un concept d'aménagement multi-échelle utilisant la géométrie fractale. En effet, les gains d'efficacité classique (rénovation du bâti, performance des modes de transport, production locale d'énergie) ne suffisent pas aujourd'hui pour assurer aux territoires une trajectoire carbone appropriée. Il est nécessaire de s'appuyer sur la sobriété énergétique, approche qui consiste à assurer la même qualité de vie aux habitants, mais avec une baisse des consommations énergétiques qui peut s'accompagner d'une évolution des pratiques. L'approche de la sobriété suppose de repenser la forme de la ville pour s'adapter à des contraintes multiples : 1/ préservations des trames vertes et bleues, voire renforcement, puisqu'elles participent au rafraîchissement urbain, à la qualité de vie des habitants, et sont compatibles avec des pratiques de circuit court comme le maraîchage et l'agriculture urbaine, 2/ diversité des densités de logement et de population, de manière à pouvoir mutualiser plus facilement des sources locales de production d'énergie, sans entraîner les inconvénients dus à la densité (congestion, renchérissement des logements, îlots de chaleur), et 3/ organisation hiérarchique des centralités, des commerces, des emplois et des aménités, de manière à maximiser les mobilités douces, tout en assurant la rentabilité économique des centres secondaires.

L'approche développée dans SOFT repose sur le modèle fractalopolis, concept d'aménagement, auquel est associé un logiciel opérationnel diffusé en *open source*. Les outils de fractalopolis permettent de créer au cas par cas un zonage multi-échelle adapté à chaque territoire, préservant des lacunes à différentes échelles pour la continuité des trames vertes et bleues, qui constitue une sorte de plan local d'urbanisme multi-échelle, décrivant une organisation hiérarchique fonctionnelle du territoire. Sur la base de ce zonage, il est possible d'estimer et d'ajuster un modèle de population pour avoir une répartition des logements en adéquation avec la hiérarchie spatiale proposée. Des évaluations d'accessibilité aux commerces et services sont effectuées, s'appuyant sur une classification fondée sur une hiérarchie théorique de besoin ainsi que sur les normes d'accessibilité présentes dans les documents d'urbanisme. Enfin, il est possible de faire évoluer la population, pour simuler une croissance urbaine, ou de reconfigurer la répartition spatiale des services, de manière à comparer des scénarios.

Le projet SOFT a appliqué ce concept au territoire d'Est-Ensemble, établissement public territorial situé à l'est de Paris. La phase de diagnostic a révélé un territoire déjà dense, mais avec des diversités de paysages, fort de trois arcs verts, et avec une population très porteuse de changements, avec des associations des actives, y compris dans le domaine de l'énergie. Le scénario spatial proposé vise donc à préserver et renforcer ces atouts, et s'appuie sur le prolongement à venir de la ligne 11 du métro qui modifiera les centralités existantes. Ce scénario laisse une place importante pour la production locale d'énergie, l'agriculture urbaine et le maraîchage, traditionnellement développés au sud du territoire. La piste du recyclage des excréments, plus novatrice et très cohérente avec la dynamique en place, a été explorée en détail. Les résultats des analyses incitent à préserver et renforcer les spécificités du territoire. Les initiatives locales en faveur de l'énergie pourraient par ailleurs être soutenues par la monnaie locale, la Pêche, ce qui renforcerait encore la cohésion et l'image de ce territoire en transition.

Une partie des outils développés dans SOFT seront mobilisés à l'avenir en appui de bureaux d'études, notamment grâce à l'implication d'Efficacity, partenaire du projet.



## ABSTRACT

The SOFT project, energy sobriety through urban forms and transport, addressed the question of the energy strategy of a territory using a multi-scale planning concept using fractal geometry. Indeed, traditional efficiency gains (renovation of buildings, performance of transport modes, local energy production) are not sufficient today to ensure that territories have an appropriate carbon trajectory. It is necessary to rely on energy sobriety, an approach that consists of ensuring the same quality of life for inhabitants, but with a decrease in energy consumption that can be accompanied by a change in practices. The sobriety approach implies rethinking the shape of the city to adapt to multiple constraints: 1/ preservation of green and blue frames, or even reinforcement, since they contribute to urban cooling, to the quality of life of the inhabitants, and are compatible with short circuit practices such as market gardening and urban agriculture, 2/ diversity of housing and population densities, so that local sources of energy production can be more easily pooled, without causing the disadvantages due to density (congestion, higher housing costs, heat islands), and 3/ hierarchical organisation of centralities, shops, jobs and amenities, so as to maximise soft mobility, while ensuring the economic profitability of secondary centres.

The approach developed in SOFT is based on the fractalopolis model, a development concept, to which is associated an operational software distributed in open source. The fractalopolis tools make it possible to create, on a case-by-case basis, a multi-scale zoning adapted to each territory, preserving gaps at different scales for the continuity of the green and blue frames, which constitutes a kind of multi-scale local urban planning plan, describing a functional hierarchical organisation of the territory. On the basis of this zoning, it is possible to estimate and adjust a population model in order to have a distribution of dwellings in line with the proposed spatial hierarchy. Accessibility assessments for shops and services are carried out, based on a classification based on a theoretical hierarchy of needs as well as on accessibility standards present in urban planning documents. Finally, it is possible to change the population, to simulate urban growth, or to reconfigure the spatial distribution of services, in order to compare scenarios.

The SOFT project applied this concept to the territory of Est-Ensemble, a territorial public establishment located east of Paris. The diagnostic phase revealed an already dense territory, but with a diversity of landscapes, with three green arches, and with a population that is very promising for change, with associations of active people, including in the field of energy. The proposed spatial scenario therefore aims to preserve and strengthen these assets, and is based on the future extension of metro line 11, which will modify the existing centralities. This scenario leaves an important place for local energy production, urban agriculture and market gardening, traditionally developed in the south of the territory. The track of recycling excretas, more innovative and very coherent with the dynamics in place, has been explored in detail. The results of the analyses encourage the preservation and reinforcement of the specificities of the territory. Local initiatives in favour of energy could also be supported by the local currency, Fishing, which would further strengthen the cohesion and image of this territory in transition.

Part of the tools developed in SOFT will be mobilised in the future in support of consultancy firms, in particular thanks to the involvement of Efficacy, partner of the project.

# 1. Introduction

---

Depuis quelques dizaines d'années, l'humanité est confrontée à une situation inédite. Le développement des sciences permet de mettre en évidence de manière relativement objective des variations, à différentes échelles de temps, du climat, donc des températures moyennes, et montre que nous sommes dans une phase d'évolution à la hausse des températures sur toute la planète. Dans le même temps, de nombreux mécanismes ont été mis en évidence laissent penser que l'activité humaine a un impact significatif sur cette tendance à la hausse des températures, voire même en est la cause principale. Cette situation est inédite à plusieurs titres. Tout d'abord, il paraît incroyable que l'homme soit capable, par sa seule activité, d'impacter aussi violemment les écosystèmes après des millénaires d'impact faible, voire négligeable. Enfin, étant donné la complexité des mécanismes liés au climat et à l'environnement, il est remarquable que nous ayons pu formuler des mécanismes liés au réchauffement climatique, notamment l'effet des gaz dits à « effet de serre », et donc que nous soyons capables d'envisager des façons de mitiger cet impact inédit sur notre environnement.

Cette situation a placé dès le départ la question de l'homme et du climat sur un plan très technique, presque scientifique, attendant de la Science et d'elle seule des réponses à toutes les questions sur ce lien entre activités humaines et réchauffement climatique, dont en premier lieu les façons d'aborder la crise climatique à venir, voire de l'infléchir. Étant donné que les gaz à effets de serre sont très liés à la production d'énergie, et que par ailleurs les ressources en énergie fossile, dont le pétrole, ne font que s'amenuiser (par définition de leur caractère fossile), les enjeux climatiques sont devenus aujourd'hui des enjeux prioritairement énergétiques, dans un glissement insensible. La réponse à la crise climatique à venir semble être de diminuer les consommations énergétiques responsables d'émission de gaz à effet de serre, soit par le biais de gains d'efficacité, c'est-à-dire en rendant le même service avec moins d'énergie, soit par le biais d'un changement de vecteur énergétique, en substituant à une énergie fossile émettrice de gaz à effet de serre une autre énergie moins émettrice, si possible renouvelable ou de récupération, mais sans nécessairement consommer moins d'énergie. Le premier paradigme est celui appliqué dans le logement quand on l'isole ou quand on change sa chaudière à gaz par une chaudière plus récente et plus performante, et le deuxième paradigme est celui appliqué dans le transport à travers le remplacement des voitures à moteur thermique par des voitures à moteur électrique alimenté par une batterie, puisque l'électricité peut provenir de sources peu émettrices en carbone, comme le nucléaire, ou renouvelables, comme l'énergie solaire à travers les cellules photovoltaïques.

Notons ici que le concept de « renouvelable » désigne en fait plutôt le concept de « inépuisable à l'échelle de plusieurs générations humaines », sinon il serait en contradiction avec les principes élémentaires de la thermodynamique. Les réponses au changement climatique citées ici sont dans tous les cas techniques, voire techniques, par le biais du progrès. Plus récemment, une autre approche a émergé, celle de la sobriété, qui consiste à consommer moins d'énergie, non pas en rendant exactement le même service (auquel cas ce serait de l'efficacité, et donc le cas précédent), mais en rendant un service équivalent, ou tout au moins à qualité de vie équivalente pour les habitants. C'est un levier plutôt comportemental, lié aux pratiques, et donc plus difficile à systématiser. C'est celui qui est activé quand on préconise de chauffer les pièces à 19°C au lieu de 20 ou 21, engendrant un léger inconfort pour une partie de la population, et de compenser par la baisse de température par des vêtements supplémentaires. La sobriété peut passer également par une plus faible mobilité, ou une mobilité de plus courte distance. L'approche de la sobriété rejoint par bien des aspects celle, militante, de la décroissance, qui lutte contre le paradigme qui voudrait que la croissance économique soit à rechercher dans tous les cas et soit associée à une amélioration systématique des conditions de vie.

Concernant les villes et les mobilités, des travaux extrêmement influents, quoique fragiles sur le plan méthodologique, de Newmann et Kenworthy dans les années 1980, ont établi un lien entre taille de ville et consommation d'énergie, ou plutôt surconsommation d'énergie, avec comme proposition d'explication le fait qu'une ville grande est nécessairement étalée, et donc engendre des consommations importantes d'énergie dues à la mobilité individuelle. Dans le contexte technique de lutte contre le réchauffement climatique, cette posture a conduit à privilégier de manière nette le modèle de la ville compacte dense, nécessairement verticale, supposée moins consommatrice d'énergie. En effet, la densité favorise le développement des transports en commun, qui ont besoin d'une massification des flux pour être efficaces, et la compacité diminue les distances à parcourir. Par ailleurs, de manière très récente, le modèle de la ville compacte dense, et son corollaire, la lutte contre l'étalement urbain, sont vus comme des manières de lutter contre l'imperméabilisation des sols, rebaptisée « artificialisation » par les pouvoirs publics, et présente par ailleurs des avantages objectifs en matière de résilience contre les inondations, de préservation de la biodiversité, ou encore de réservoirs de biomasse.

Ces deux éléments, pourtant disparates, celui de la volonté d'agir contre le changement climatique principalement par le biais de l'efficacité, donc de la technique, et celui de la promotion inconditionnelle du modèle de la ville dense et compacte, sont, semble-t-il, au fondement de nombreuses politiques publiques en matière d'aménagement et d'urbanisme. Le volet de l'évolution des comportements, nécessaire à la sobriété, est rarement abordé comme tel, et en tout cas plus rarement par les acteurs des politiques locales d'urbanisme et de transport, ce qui s'explique aisément car il peut sembler en dehors de leur domaine de compétence. Par ailleurs, le paradigme de la ville dense compacte n'est pas remis en cause, bien qu'il soit questionné de plus en plus quand on introduit dans les réflexions la problématique de l'agriculture urbaine, la prise en compte des trames vertes et bleues et des corridors écologiques, et enfin la question du rafraîchissement urbain, fonctions qui nécessitent des inclusions ou trouées dans le tissu urbain dense pour accueillir de la végétation ou des cultures.

Le projet SOFT aborde un territoire existant, celui de l'établissement public territorial d'Est-Ensemble, avec comme ambition de remettre en question les deux idées reçues précédemment exposées, en posant explicitement la question de la sobriété et par seulement de l'efficacité d'une part, et en réfléchissant à la possibilité de formes urbaines s'écartant du modèle compact dense d'autre part, pour réfléchir au futur énergétique du territoire, dans l'esprit d'un PCAET.

L'approche développée dans SOFT est articulée autour de la question centrale des formes urbaines, approchée à travers des zonages et des préconisations en matière d'usage du sol, de population, de densité, et enfin de centralité. La conception des zonages, ainsi que les différentes évaluations qui l'accompagnent, se fait avec le logiciel **fractalopolis**, logiciel de recherche open source qui permet de mettre en œuvre une approche d'urbanisation alliant polycentrisme hiérarchisé et diversité de densités à toutes les échelles en s'appuyant sur des géométries fractales explicites. Cette conception est au cœur du projet de recherche SOFT. Elle s'appuie très classiquement sur un diagnostic territorial, en partant des projets de territoire explicités dans les différents documents d'urbanisme, et permet de proposer différentes évolutions du territoire qui peuvent être évaluées par la simulation, avec Mobisim-SOFT pour les mobilités, autre logiciel de recherche open source, et un outil de simulation énergétique comme City Energy Analyst pour les bâtiments, lui aussi développé par la communauté académique et mis librement à disposition des utilisateurs.

Cependant, la question de la sobriété est loin d'être une approche purement technique. Le projet SOFT a donc exploré deux voies complémentaires, celles du changement de comportement de consommation énergétique impulsé ou soutenu par les citoyens et les associations, et celle de la valorisation des déchets en circuit court, de manière à compléter le diagnostic territorial et aider à élargir l'approche de scénarisation d'usage du sol.

Enfin, le développement de nouvelles pratiques de consommation et de production d'énergie, comme la production d'électricité par panneaux photovoltaïques, appellent à repenser les réseaux de distribution d'électricité, pensés dans un modèle très hiérarchique descendant. Une reconfiguration prospective du réseau électrique d'Est-Ensemble, sur des principes de géométrie fractale, est proposée en perspective.

Le présent rapport présente en deuxième section un état des lieux détaillé du territoire d'Est-Ensemble en matière d'énergie, qui permet de construire des macro-scénarios dans la troisième section. Étant donné que la question de la sobriété repose principalement sur les comportements, la quatrième section présente une analyse détaillée du tissu associatif du territoire, et la cinquième explore en détail la piste récente du recyclage des excréments, très prometteuse pour Est-Ensemble. Le principe d'aménagement multi-échelle à l'aide de **fractalopolis** est présenté dans la cinquième section, et son application au territoire commentée et illustrée en sixième section. La septième section propose une évaluation de la mobilité à travers une spatialisation fine des déplacements. Enfin la huitième section propose une piste de reconfiguration du réseau électrique d'Est-Ensemble en adéquation avec le schéma d'aménagement proposé.

## 2. Éléments de diagnostic

L'établissement public territorial (EPT) Est Ensemble a été créé le 1<sup>er</sup> janvier 2016. Il fait partie des 12 territoires de la Métropole du Grand Paris, créés dans le cadre de la loi NOTRe.

Est Ensemble dispose de compétences obligatoires propres et de compétences partagées avec la métropole du Grand Paris. Il compte 403 770 habitants et est constitué de 9 communes : Bagnole, Bobigny, Bondy, Le Pré-Saint-Gervais, Les Lilas, Montreuil, Noisy-le-Sec, Pantin, Romainville (Tableau 1).

Commune	Superficie (km <sup>2</sup> )	Population (2013)	Densité (hab/ km <sup>2</sup> )
Romainville	3,44	25 657	7 458
Bagnole	2,57	35 984	14 002
Bobigny	6,77	49 802	7 356
Bondy	5,47	52 865	9 665
Les Lilas	1,26	22 819	18 110
Montreuil	8,92	104 139	11 675
Noisy-le-Sec	5,04	41 125	8 160
Le Pré-Saint-Gervais	0,70	17 908	25 583
Pantin	5,01	53 471	10 673
Total Est-Ensemble	39,18	403 770	10 306

Tableau 1 : Population, superficie et densité moyenne des communes d'Est Ensemble. Source : INSEE, RGP, traitement Alexandre Bouton et Meriam Bechir

Les réflexions menées dans SOFT s'appuient sur l'ensemble des documents d'urbanisme du territoire, et visent à être relativement cohérents avec les schémas d'aménagement globaux (Figure 1).

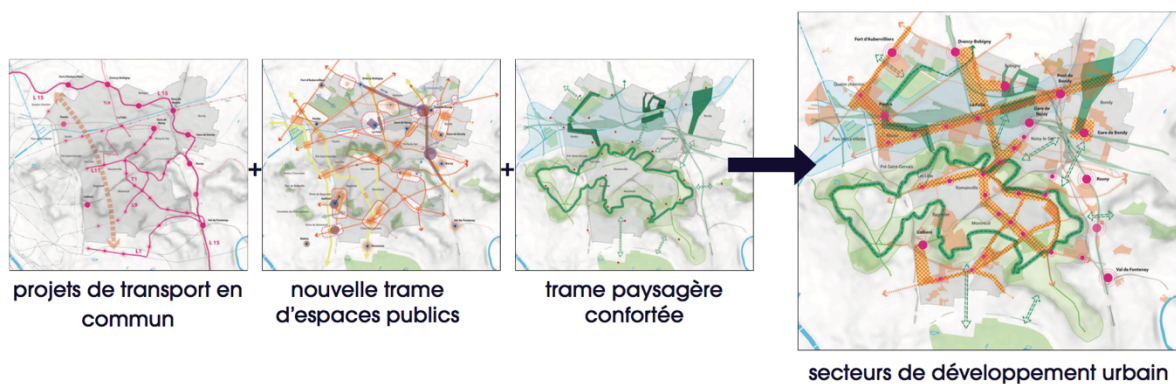


Figure 1 : Conditions du développement urbain d'Est Ensemble, d'après son projet urbain. Source : projet urbain

### Typologie « habitants-habits » (GTC) adaptée au parc privé

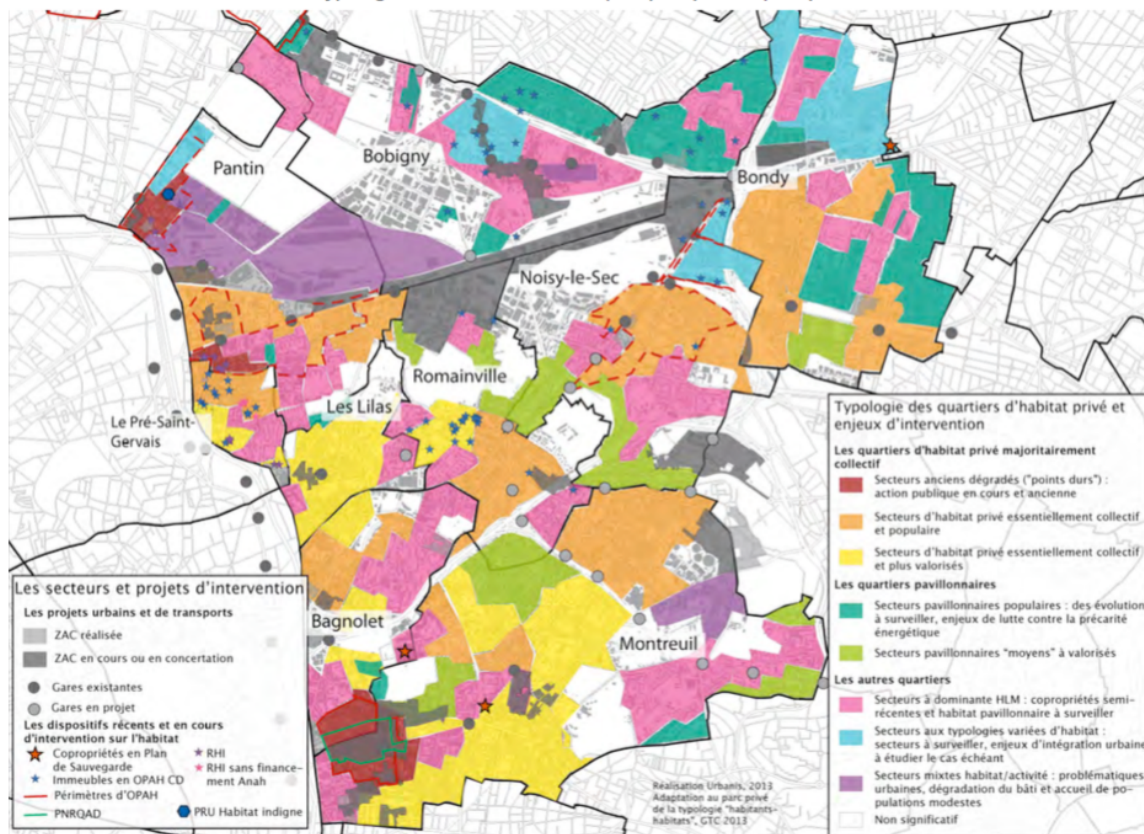


Figure 2 : Typologie de l'habitat d'Est Ensemble. Source : PLH.

Les grands enjeux énergétiques du territoire d'Est Ensemble portent classiquement sur trois dimensions :

- réduction de la précarité énergétique et rénovation du bâti ;
- valorisation du potentiel d'énergies renouvelables, et développement de réseaux ;
- intégration des nouveaux quartiers dans une optique de solidarité énergétique.

L'application de la première réglementation thermique datant de 1975, les bâtiments construits avant cette date sont généralement mal isolés et source de déperditions énergétiques importantes (Figures 2 et 3), pouvant conduire à des situations de précarité énergétique lorsqu'ils sont occupés par des ménages modestes.

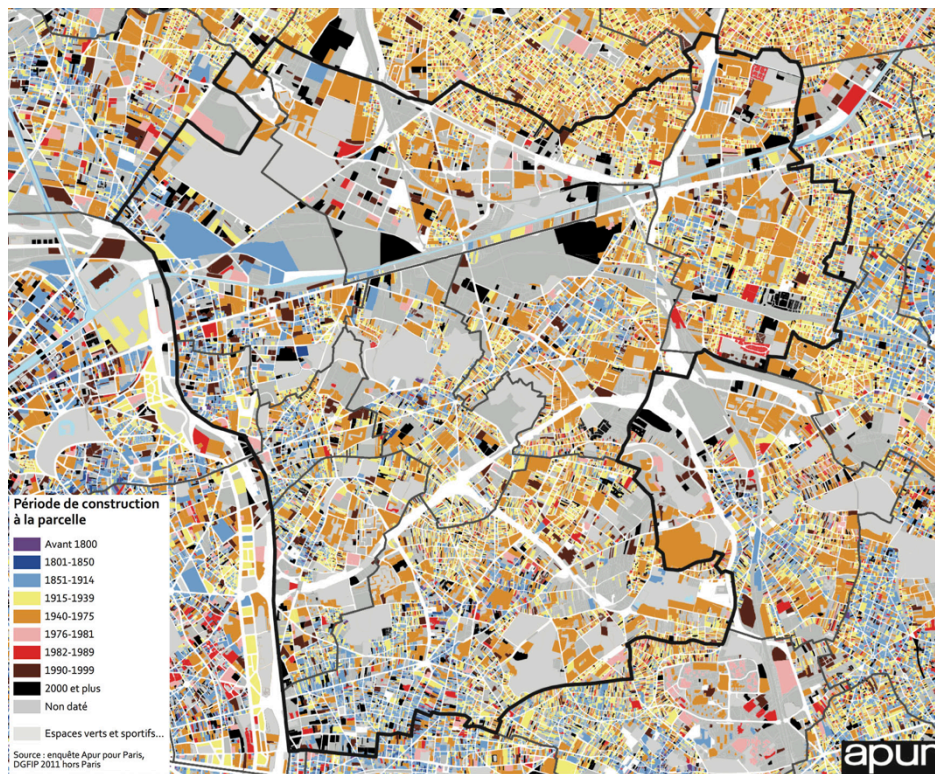


Figure 3 : Datation du bâti (période de construction à la parcelle). Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR.

Selon l'ANAH, un foyer est considéré en être en situation de précarité énergétique lorsqu'il dépense plus de 10% de son budget pour payer ses factures énergétiques.

Le recensement suivant pour Est Ensemble a été établi par le projet ANR VITE !:

- 43% des ménages ne sont pas imposables ;
- 44% des ménages ne sont pas motorisés ;
- 42 % de logements sociaux (65 000 logements) ;
- 11% des logements privés sont estimés « potentiellement indignes » (9 000 log) ;
- 12 quartiers sont concernés par le PNRU ;
- Un objectif de 16 800 logements neufs en 6 ans a été établi, dont 50 % au-dessous des prix du marché (Magazine d'Est Ensemble, n°25, 2016, p9).

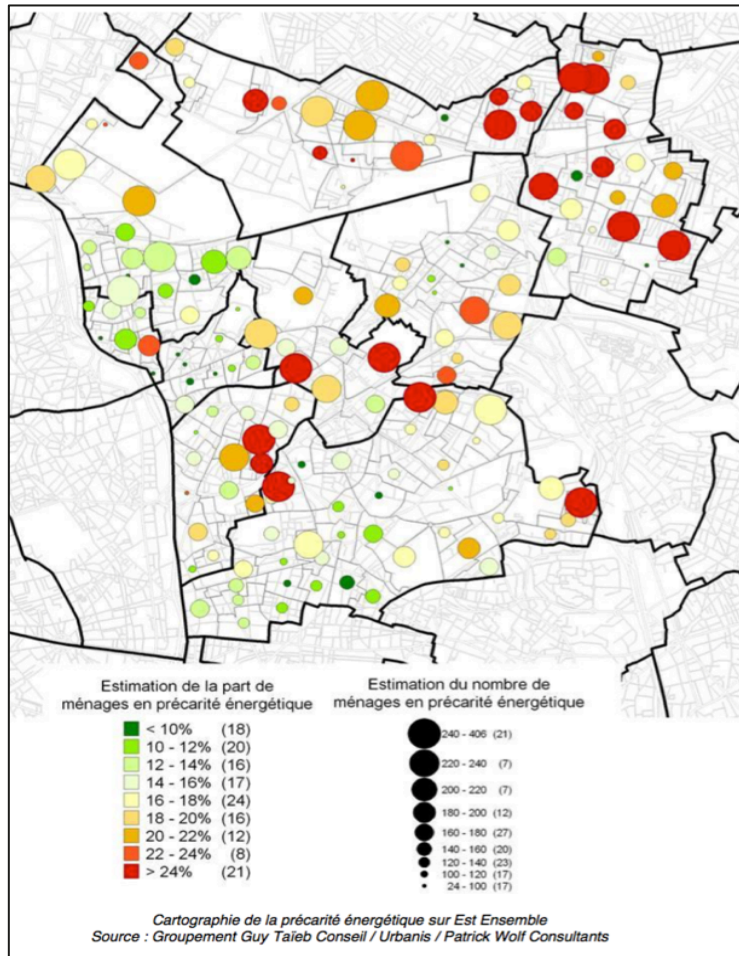


Figure 4 : Estimation de la précarité énergétique établie pour Est Ensemble

Le Profil Climat Énergie Territoire identifie 23 655 des ménages, soit 15 % des 162 840 ménages d’EE (INSEE, RP 2013), en situation de précarité énergétique (Figure 4), dont 50% dans le parc social, 18% de propriétaires occupants et 31% de locataires dans le secteur libre.

## 2.1. Potentiel d’énergies renouvelables et réseaux

L’énergie consommée sur le territoire provient très majoritairement du gaz naturel et de l’électricité, et est liée à des activités du secteur tertiaire et du secteur résidentiel, qui représentent 90% des consommations d’énergie finale (Figures 5 et 6). Notons par ailleurs que les activités tertiaires (commerce, transports, services divers et administration publique) représentent environ 85% des emplois du territoire.

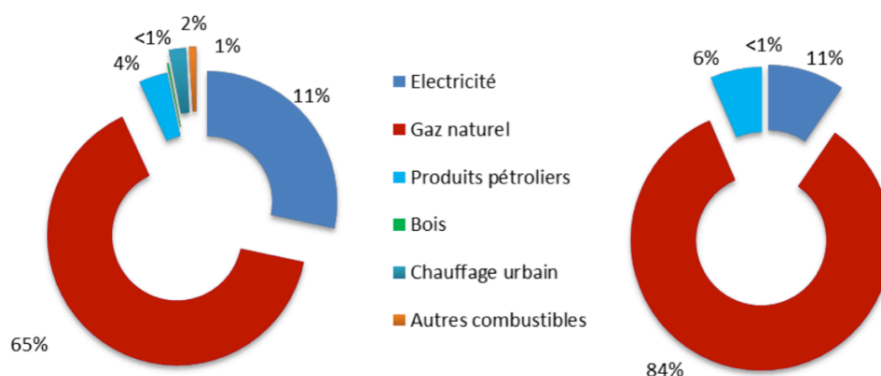


Figure 5 : Consommation d’énergie (à gauche) et émissions de CO2 (à droite). Source : Profil Climat Energie Territoire

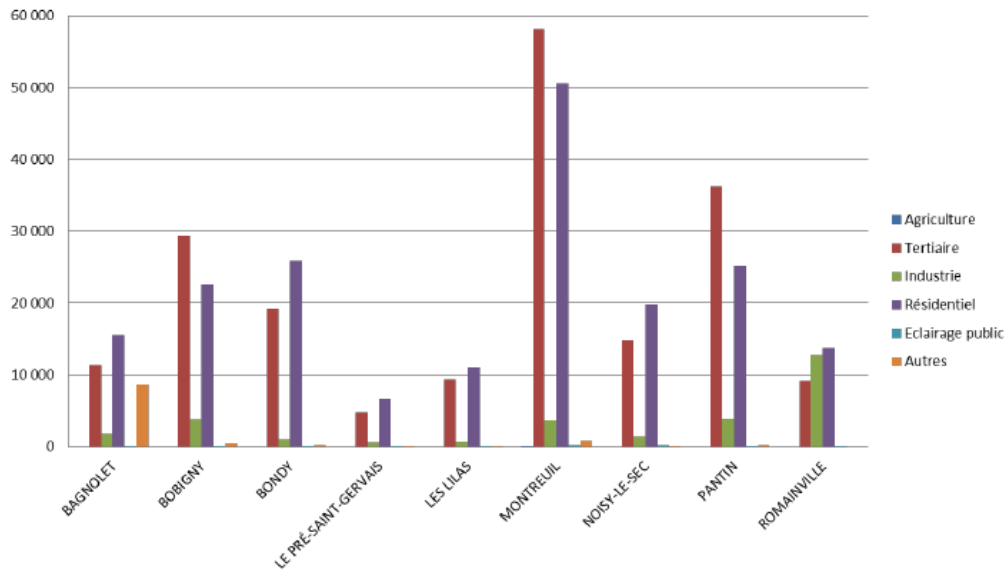


Figure 6 : Consommation d'énergie par commune et par type d'activité. Source : Profil Climat Energie Territoire

Les énergies renouvelables et de récupération sont l'énergie solaire, la géothermie, les énergies fatales, la méthanisation et le bois. Quand elles sont distribuées sous forme de chaleur, elles nécessitent la création et l'exploitation de réseaux spécifiques.

L'APUR a effectué une étude du potentiel solaire pour la métropole du Grand Paris, sur le bâti résidentiel (Figure 7). Le solaire est plus favorable pour l'habitat individuel en petite couronne car le rapport entre l'énergie solaire incidente en toiture et la surface habitable est plus important. Ce potentiel est à affiner en fonction des typologies bâties (CDT, Évaluation environnementale, Est Ensemble, 2013, p. 58).

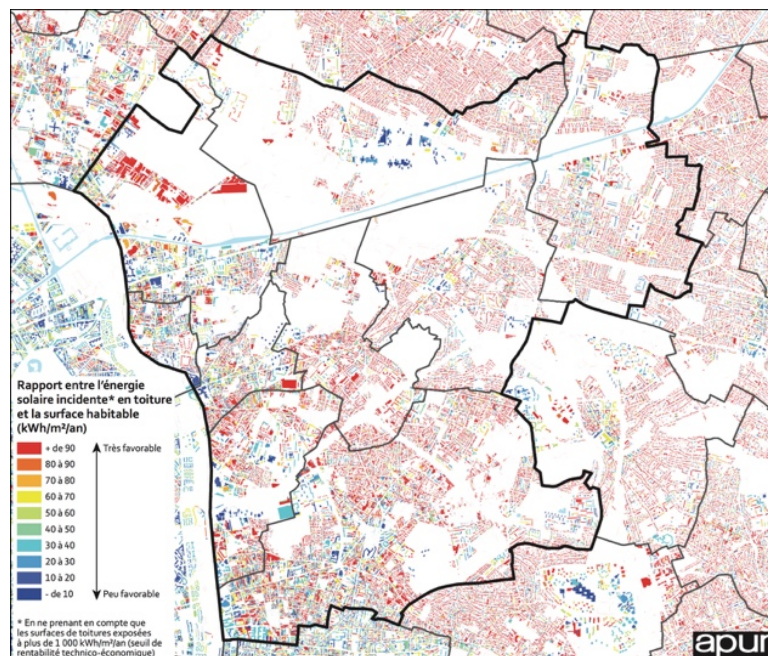


Figure 7 : Rapport entre énergie solaire incidente en toiture et la surface habitable. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR

Pour Est Ensemble, le potentiel est finalement assez limité, ce qui se reflète dans le nombre encore modeste d'installations existantes : une centaine d'installations thermiques et autant d'installations photovoltaïques, dont la grande majorité dans la commune de Montreuil.



Étant donnée sa densité le territoire d'Est Ensemble a un potentiel éolien très faible. Le potentiel géothermique, tant géothermie profonde que de surface, est plus intéressant.

Comme pour une grande partie de l'est parisien, la géothermie profonde est très favorable car elle peut exploiter l'aquifère du Dogger, situé entre 1 600 et 1 800m de profondeur avec une eau dont la température varie de 55 à 80 °C. Elle est toutefois coûteuse à mettre en œuvre, et nécessite des besoins de chaleur et de froid constants au cours de l'année.

La géothermie de surface (ou basse température) (Figure 8) nécessite des forages de faible profondeur, mais ne fonctionne que dans le cas de bâtiments à basse consommation. Le réseau ROSE a recensé quelques pompes à chaleur à Bagnole, Bobigny, Montreuil, Noisy-le-Sec et Pantin (CDT Est Ensemble, 2013).

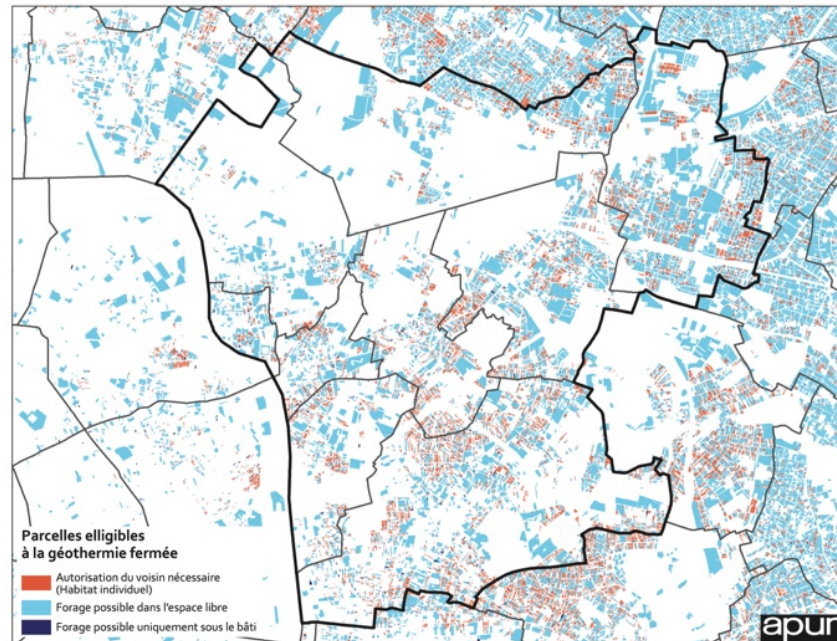


Figure 8 : Parcelles éligibles à la géothermie fermée. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR, 2015

La géothermie profonde nécessite de pouvoir transporter et mutualiser la chaleur et le froid pour être efficaces. Quatre communes disposent déjà d'un réseau de chaleur (Figure 9) auquel sont raccordés 10% des ménages (CDT Est Ensemble, 2013) :

- le réseau dense de Bagnole géré par la SDCB dessert un total de 11 878 équivalent logements pour 20 km de réseaux. Réseau alimenté principalement au bois- énergie à 57% et 43 % au gaz (anciennement au charbon à 78%) ;
- le réseau de Bobigny géré par IDEX énergie (Cogénération, avant alimenté au Fioul à 93%) ;
- le réseau de Bondy, créé en 1985 et géré par Bondy énergie, dessert les résidences des principaux bailleurs sociaux de la ville (logements de Bondy Habitat, d'immobilière 3F et de l'OPH 93, ainsi que des équipements publics (écoles, gymnase...). Il est alimenté à 70% de biomasse. Il y a également des projets de raccordement à la ZAC des rives de l'Ourcq ;
- le réseau des Lilas rattaché au réseau de Bobigny est géré par IDEX. Ce petit réseau de 600m dessert 812 équivalent logements, il est alimenté au gaz à 100 % (Profil Climat Énergie Territoire, Est Ensemble, 2014, p. 61).

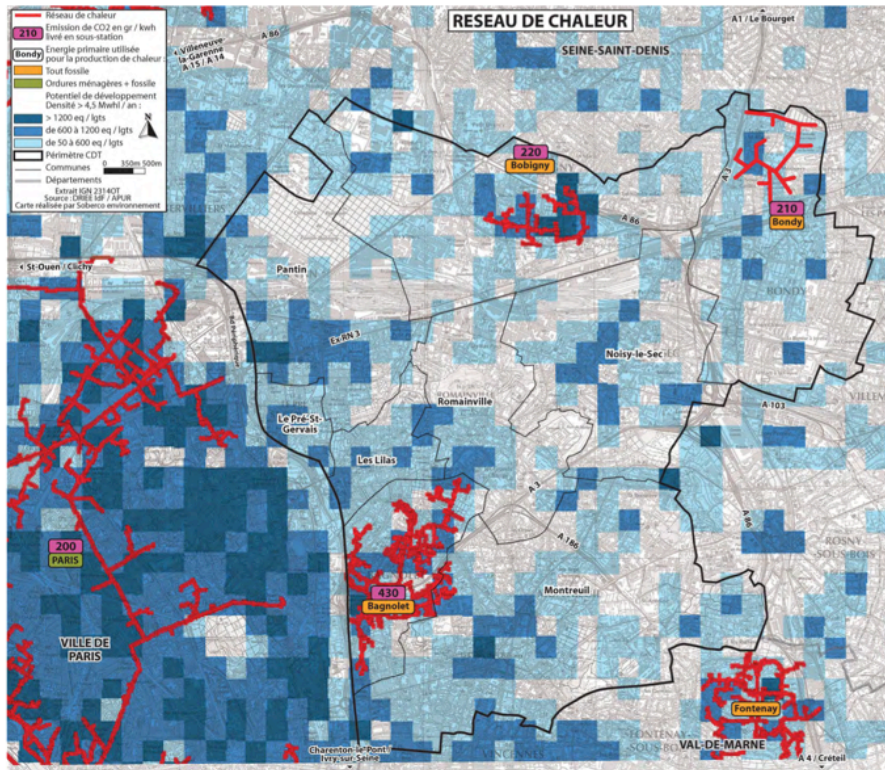


Figure 9 : Les réseaux de chaleur à Est Ensemble. Source : CDT, Évaluation environnementale, EST ENSEMBLE, 2013

Les réseaux de chaleur sont aujourd'hui alimentés par des chaufferies bois, fuel ou gaz (Figure 10).

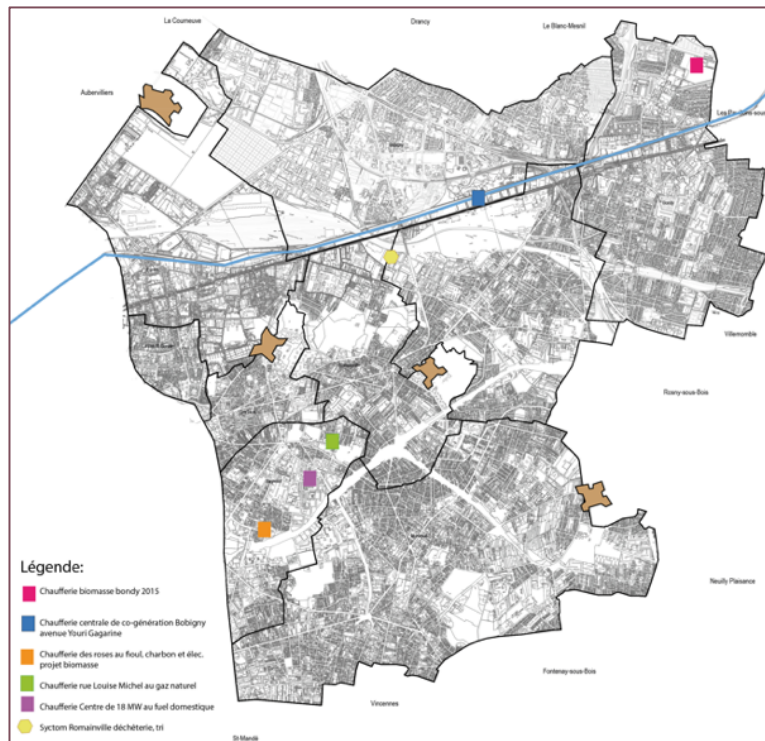


Figure 10 : Les chaufferies à Est Ensemble. Source Urban Act, traité par M. Bechir

Enfin, la chaleur fatale industrielle (Figure 11) constitue un potentiel d'énergie à récupérer et valoriser. Est Ensemble accueille un *data center*, plusieurs grands centres commerciaux, plusieurs emprises industrielles et un réseau dense d'eaux grises.

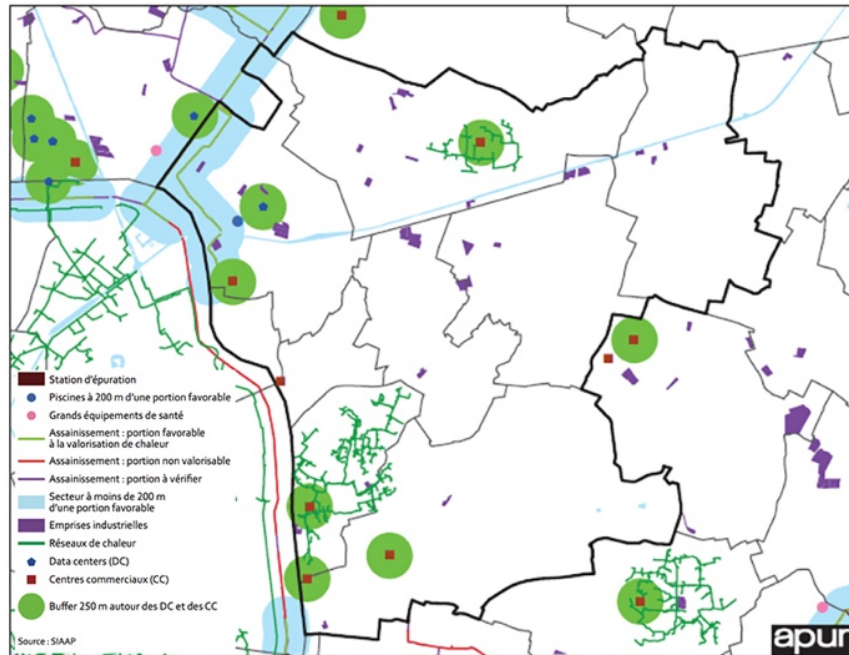


Figure 11 : Les sources d'énergie fatale locale. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR, 2015

Concernant les déchets, source potentielle de valorisation énergétique, le centre de Romainville (Figure 12) voit transiter les ordures mais elles sont traitées sur d'autres sites : UIOM de Saint-Ouen, d'Ivry, ISDND de Claye-Souilly, ....1

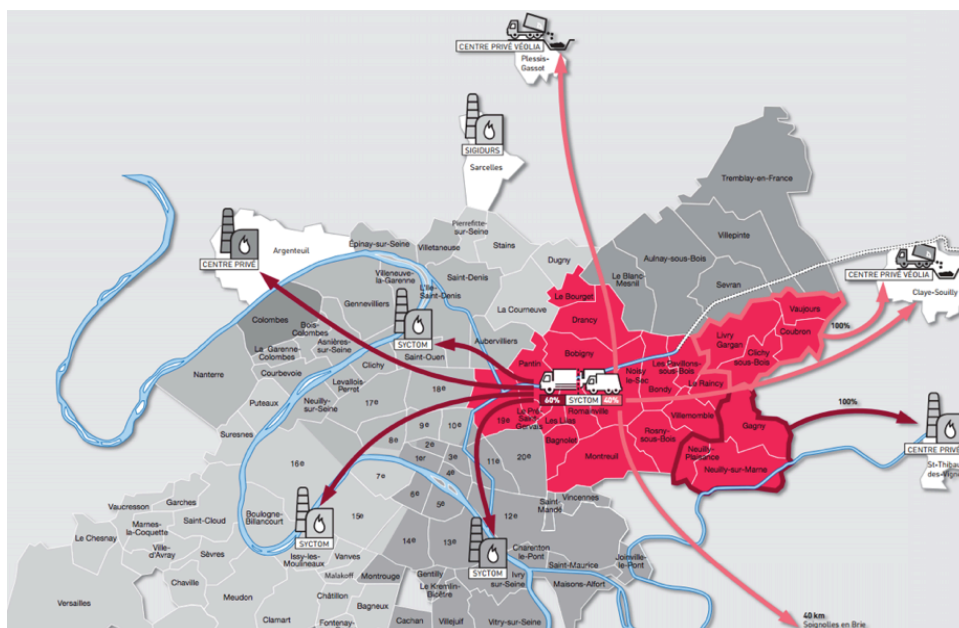


Figure 12 : Centre de tri des déchets à Romainville. Source : [www.syctom-paris.fr](http://www.syctom-paris.fr)

Le potentiel de valorisation ou de méthanisation n'est donc par exploité par Est Ensemble. Un projet d'usine de méthanisation porté par le SYCTOM à Romainville a été refusé par les associations des riverains du projet « ARIVEM » en 2011 et par certaines communes de l'Est parisien. Ce projet prévoyait « l'accueil de 322 500 t de déchets ménagers, qui permettront sur

1 <http://www.syctom-paris.fr/installations-et-projets/installations/romainville/centre-de-tri.html>

le plan énergétique une progression du taux de valorisation des déchets de 40 à 75% notamment par la production de biogaz, compost, recyclage de matière, etc. » (CDT Est Ensemble, 2013).

En résumé (Tableau 2), le potentiel maximum d'énergies renouvelables en fonction du profil climat énergie d'Est Ensemble est de 681 GWh/an, en utilisant la géothermie (potentiel estimé à 259 GWh/an), le solaire (potentiel estimé à 239 GWh/an en équipant 5% des 33 km<sup>2</sup> du territoire construit par des panneaux photovoltaïques), la méthanisation (potentiel de production de biogaz de 173 GWh/an en utilisant les déchets produits et collectés sur le territoire d'Est Ensemble), et enfin l'énergie bois.

Energie Renouvelable	Gisement (GWh)	Contribution
Energie Eolienne	0	0,0%
Energie Solaire	239	5,0%
Energie Hydroélectrique	0	0,0%
Bois énergie	9	0,2%
Géothermie	259	5,4%
Méthanisation	173	3,6%
<b>TOTAL</b>	<b>681</b>	<b>14,2%</b>

Tableau 2 : Tableau de synthèse du potentiel des énergies renouvelables d'Est Ensemble. Source : Profil Climat Énergie Territoire, Est Ensemble, 2014

## 2.2. Participation des grands projets à la stratégie énergétique du territoire

Le grand projet de réhabilitation de l'ex RN 3 et du canal de l'Ourcq s'appuie notamment sur quatre ZAC (Figure 13). Les projets de ZAC prévoient des de renouvellement urbain avec des éco-quartiers mixtes d'activités, de bureaux et de logements.

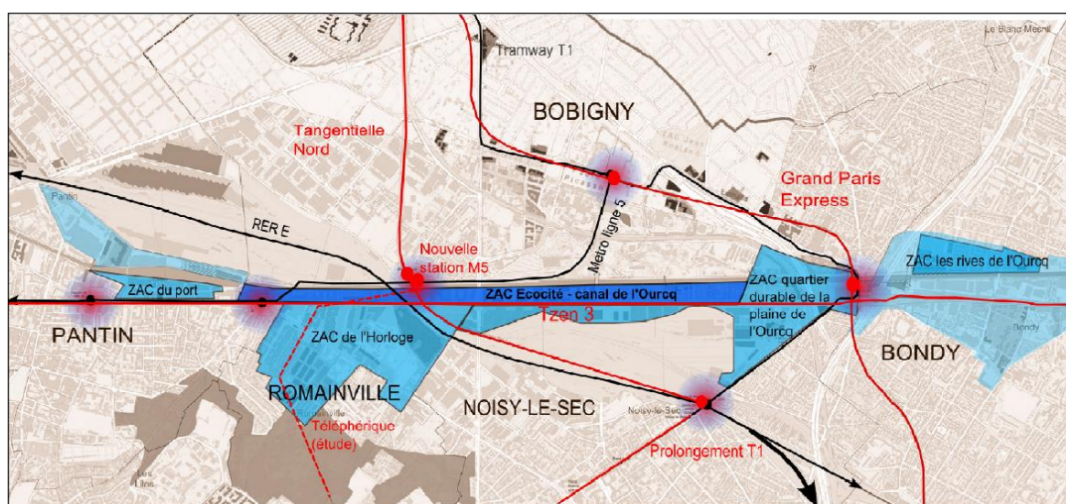


Figure 13 : ZAC de la plaine de l'Ourcq. Source : ZAC du quartier durable de la Plaine du Canal de l'Ourcq Noisy-le-Sec (93), SEQUANO-CapTerre, 2015

Une étude de faisabilité d'un réseau de chaleur a donc été menée pour desservir ce secteur de manière performante en énergie. Cette étude envisage plusieurs possibilités, dont le raccordement au réseau existant de la CPCU, la création d'un réseau propre de chaleur géothermique, le raccordement aux réseaux existant des communes voisine, ou encore un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie bois.

L'étude conclut que :

1. « Les constructions et aménagements voisins présentent un potentiel important de possibilité de raccordement au projet réseau de chaleur ou des solutions locales de production de chaleur. La présence ou l'extension d'un réseau de chaleur à Bobigny permettra à la ZAC de l'Ecocité un approvisionnement en énergie. La ZAC de l'Horloge a priori optée pour une chaufferie gaz collective. Un raccordement au projet YGEO est actuellement mené sur Noisy-le-Sec.
2. Les futures zones d'activités pourraient être intéressées par une alimentation en énergie provenant de la ZAC de la Plaine de l'Ourcq (réseau de chaleur, électricité). Ces usages sont généralement énergivores et pourraient contribuer à rentabiliser une installation énergétique de forte capacité ».

## **2.3. État des lieux transport**

### **2.3.1. Le réseau TC**

Les études effectuées (synthèse PLD) mettent en évidence une forte utilisation des Transports en commun (TC) dans le secteur. Ainsi 25 % des déplacements des résidents d'Est Ensemble sont réalisés en TC et ce pourcentage est encore bien plus élevé dans les déplacements pendulaires (55,5 %) ce qui correspond à une faible utilisation de l'automobile tous motifs confondus dans les déplacements internes à Est Ensemble (18,4 %). En effet 44 % des habitants possèdent un abonnement de transport et 29 % disposent du pass Navigo. %

Toutefois ce bilan est à nuancer. Les actifs entrant sur Est Ensemble utilisent plus faiblement les TC que les actifs sortants (45,1 % contre 64,9 %) et seulement 1/3 des emplois d'Est Ensemble sont occupés par les habitants et ainsi 2/3 des actifs travaillent en dehors d'Est Ensemble ce qui implique des flux d'échanges très élevés. Des investissements de plus en plus lourds en matière de transport seraient nécessaires pour assurer ces déplacements en évitant la saturation du réseau routier mais également dans les TC. Il en est conclu que seulement une meilleure adéquation entre le profil des actifs et le type d'emplois offerts on pourrait s'attendre à une baisse des flux d'échanges.

Si le diagnostic du PLD, établi par *ITEM conseil*, met en avant que la zone d'Est Ensemble est bien desservie, il faut souligner qu'à l'heure actuelle ceci est seulement vrai en ce qui concerne le réseau de bus, mais que la desserte est très inégale en ce qui concerne les systèmes de transport en commun ferrés tels que les RER, métros et tramway qui doivent en outre être considérés comme axes structurants. A l'heure actuelle il n'existe qu'un couloir bien desservi au Nord autour des lignes 5 du métro, la ligne T1 et le RER E (Figure 14). Dans la partie Sud seul la ligne M9 entre vraiment dans le territoire tandis que les lignes de métro M3 et M11 ne relient que la périphérie Ouest d'Est Ensemble à Paris. Une grande partie de Montreuil, Noisy-le-Sec, Rosny et notamment Romainville sont largement à l'écart de ces réseaux.

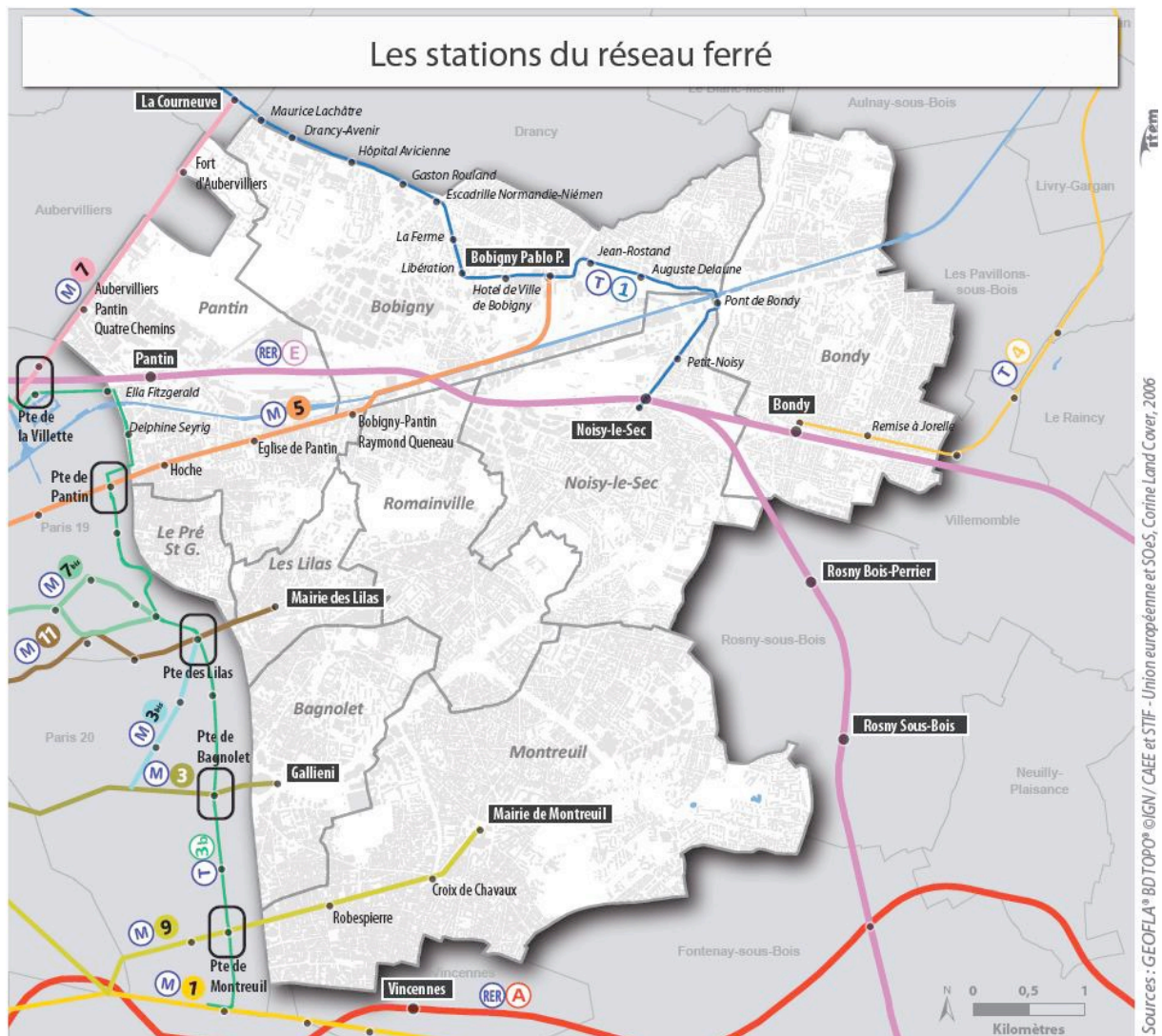


Figure 14 : Les stations du réseau ferré existant. Source : ITEM

Dans la situation actuelle, des améliorations de l'offre lourde de TC permettraient d'offrir une réponse plus adaptée aux migrations pendulaires mais de contribuer de façon plus générale à un désenclavement de cet espace.

Le déficit d'infrastructures de transport lourdes a été identifié lors de l'élaboration des projets associés au « Grand Paris ». Ainsi il est prévu de prolonger les lignes M11 et M9 ce qui représente outre une amélioration des offres TC la mise en place de véritables « axes dorsaux » sur le territoire favorisant une structuration plus nette du territoire et la possibilité d'une diversification des fonctions. Notamment à l'échelle de Montreuil, l'enjeu de la ligne M11 du métro est très fort.

Pour d'autres projets différentes variantes ont été discutées mais aussi partiellement contestées comme la prolongation de la ligne M3 par un téléphérique urbain (Figure 19), cependant retenu en 2013 (Contrat de développement territorial Est ensemble, la « fabrique du Grand Paris », fiche action 58, p. 243), solution aussi proposée pour une ligne reliant Romainville à Bobigny. Cette solution est certes originale et se justifie par la présence d'un relief accidenté, mais pose évidemment le problème du report modal et de l'accès aux stations. La faible fréquentation attendue sur ces lignes (1 500 voyageurs par heure sur la ligne de Bobigny) a favorisé le choix de ce mode transport. Notons toutefois qu'une solution plus classique (métro à crémaillère, élévateur en pente...) aurait permis de prévoir un transport de vélo pour faciliter l'usage du vélo en présence du dénivellement important, à l'exemple de ce qui existe à Stuttgart (Figure 15).



Figure 15 : Transport de vélo par tramway à crémaillère à Stuttgart

La prolongation de la ligne T1 avec 21 (dont 15 nouvelles) stations sur 10,7 km ajouterait une liaison Nord-Sud entièrement absente jusqu'ici et relierait les différents axes centrés sur Paris. L'intersection des lignes M11 et T1 renforcerait la centralité de Romainville et permettrait de créer un véritable pôle d'échange. Ceci est aussi le cas pour l'intersection des lignes M9/T1 à Montreuil et au terminus du téléphérique de Bagnole et de la ligne T1. On attend 40 000 voyageurs/jour sur le seul prolongement qui permettra de desservir 85 000 habitants et emplois. Cependant le projet est bloqué pour l'instant par l'opposition d'un maire d'une des communes concernées.

Au Nord l'axe Est-Ouest sera renforcé par la mise en place d'un bus à haut niveau de service (BHNS) (Tzen 3, Figure 16) circulant en site propre et utilisant le tracé de l'ancienne RN 3. Cette nouvelle ligne desservira 21 stations sur 8 communes, entre la Porte de Pantin et la station Gargan du T4. La figure 17 représente l'offre de transport en commun qui sera à terme disponible.



Figure 16 : Projet de ligne Tzen 3. Source : site web du Tzen 3.

# Une ville et un territoire au cœur du Grand Paris

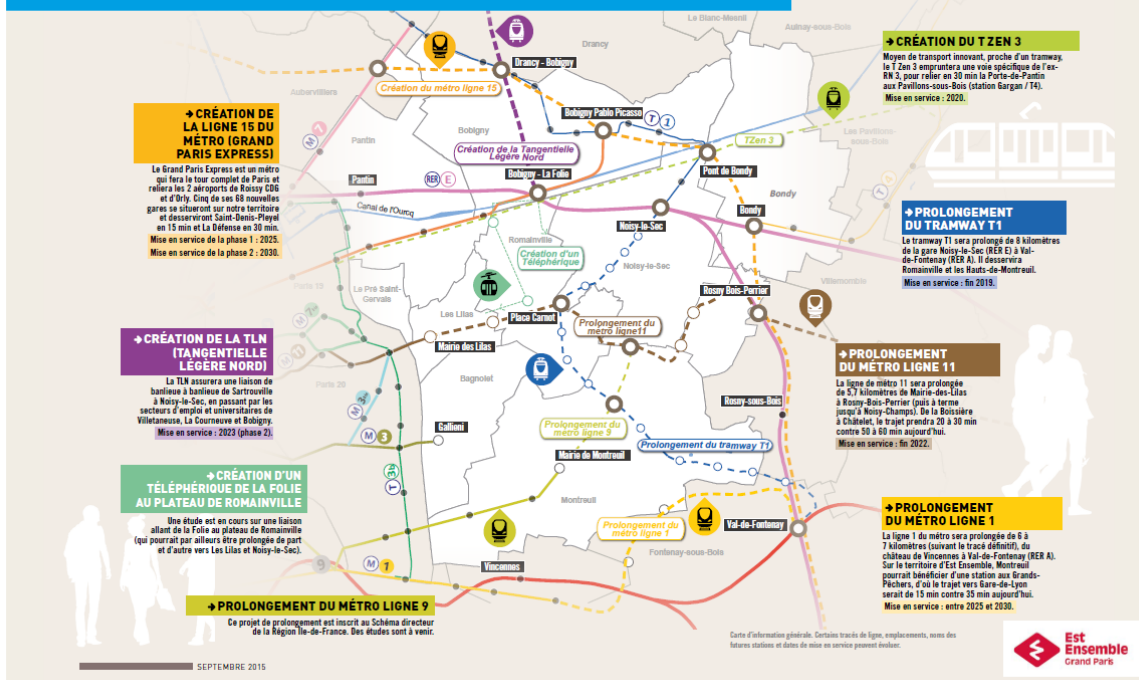


Figure 17 : Desserte en transports en commun intégrant les projets en cours. Source : projet urbain de Romainville



Deux variantes du téléphérique de Romainville

A gauche selon « Exposition sur les projets de transports à Romainville », à droite selon *le Parisien* : « le projet de téléphérique des Lilas à la Vallée de l'Ourcq se précise (31-07-2015) »



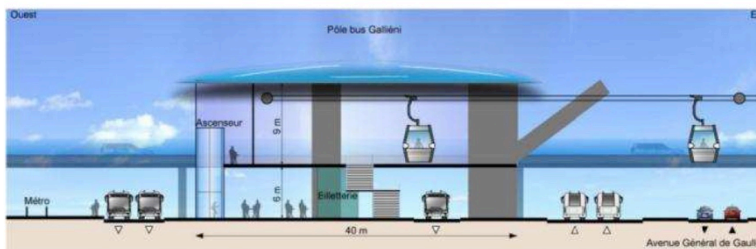


Schéma de fonctionnement de la Gare basse,  
Source : Ville de Bagnolet

Station basse du téléphérique de Romainville – schéma

Source : contrat de territoire

Figure 18 : projet de téléphérique urbain à Romainville

Comme le précise le diagnostic du PLD, le réseau de bus devra être adapté à la nouvelle situation à l'échelle des quartiers et des couloirs réservés aux bus mis en place. En outre les pôles d'échange devront être aménagés, certaines gares routières améliorées et mieux intégrées dans le contexte local. Une attention devrait aussi être portée à l'amélioration de l'accès aux zones de loisir tel que la zone le long du canal de l'Ourcq par les transports en commun. Le contexte topographique incite aussi à prévoir la location de vélos à assistance électrique comme ceci a été mis en avant dans la synthèse du PLD. Vu le contexte urbain, il paraît également important de compléter le réseau des pistes cyclables, de les raccorder aux pôles d'échange et d'y créer des parking vélo sécurisés.

ITEM Conseil a en outre souligné le rôle que pourrait jouer l'autopartage dans le contexte donné d'Est Ensemble.

### 2.3.2. Le réseau de la voirie

Le territoire est traversé par deux axes autoroutiers, l'A3 en direction Est-Ouest au centre et en périphérie par l'A86. Des échangeurs importants A3/A103/A86 se trouvent à proximité à l'Est et à l'Ouest le périphérique délimite le territoire vers Paris. L'autoroute A86 circulaire est accessible à partir de deux diffuseurs (sorties). En outre l'A3 est raccordé à Est Ensemble par quatre diffuseurs, deux dans la partie Sud, un au Nord à Bondy et un au centre.

A l'intérieur du territoire le système routier est bien hiérarchisé (Figure 19). On relève trois routes d'intérêt régional, les anciennes routes nationales ex-RN2, ex-RN3 et ex-RN302. Ce réseau est complété par un maillage assez uniforme de voies structurantes d'intérêt intercommunal comme l'ex-RN186 ou la RD 115. Toutefois ces voies sont en partie étroites et encombrées. S'ajoute ensuite un réseau d'intérêt communal.

De façon générale le réseau routier paraît bien hiérarchisé et bien maillé. Toutefois certaines coupures persistent notamment celle induite par le canal de l'Ourcq qui concentre le trafic vers le Pont de Bondy, situé à l'intersection des communes de Bondy, Bobigny et Noisy-le-Sec (qui est l'un des rares ponts à permettre le franchissement du canal de l'Ourcq). On constate une saturation surtout aux heures de pointe sur beaucoup d'axes importants qui sont en outre des rues résidentielles, et particulièrement un passage élevé de poids lourds.

On observe ainsi forte accidentologie qui concerne essentiellement les piétons et les deux roues motorisées, en revanche pas les vélos.

La situation risque de fragiliser certains projets de requalification qui fait partie de la volonté de l'ensemble des communes de pacifier les secteurs centraux en évitant la circulation de transit.

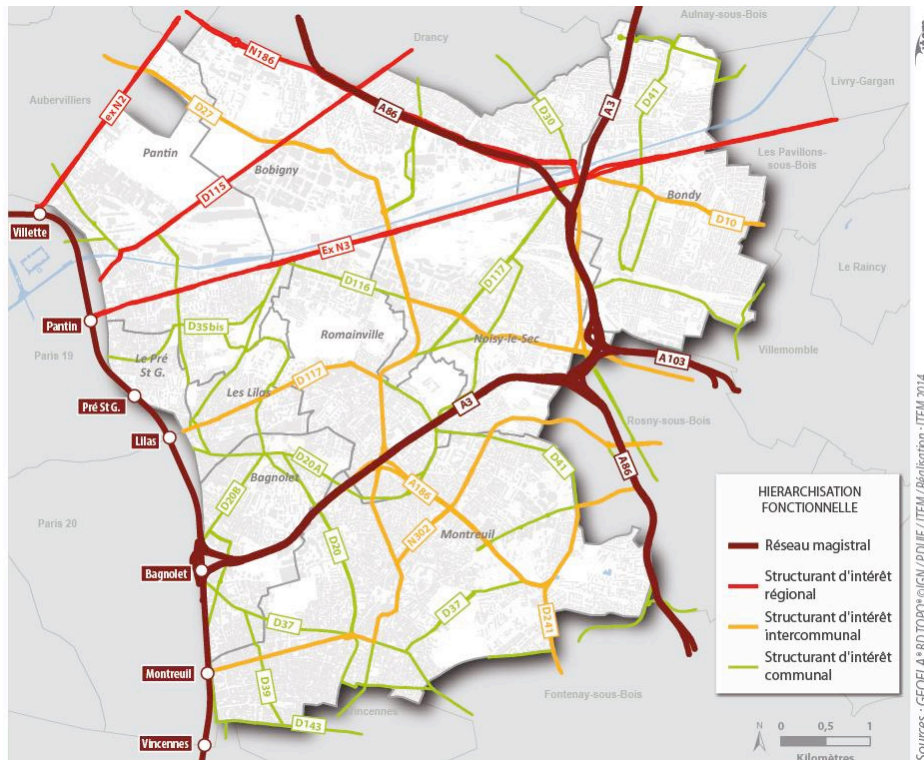


Figure 19 : Hiérarchisation fonctionnelle du réseau. Source : ITEM

La carte de la figure 20 montre l'état de saturation du réseau routier et les endroits accidentogènes qui se situent surtout aux entrées de Paris.



Figure 20 : Identification des secteurs problématiques du réseau. Source : ITEM





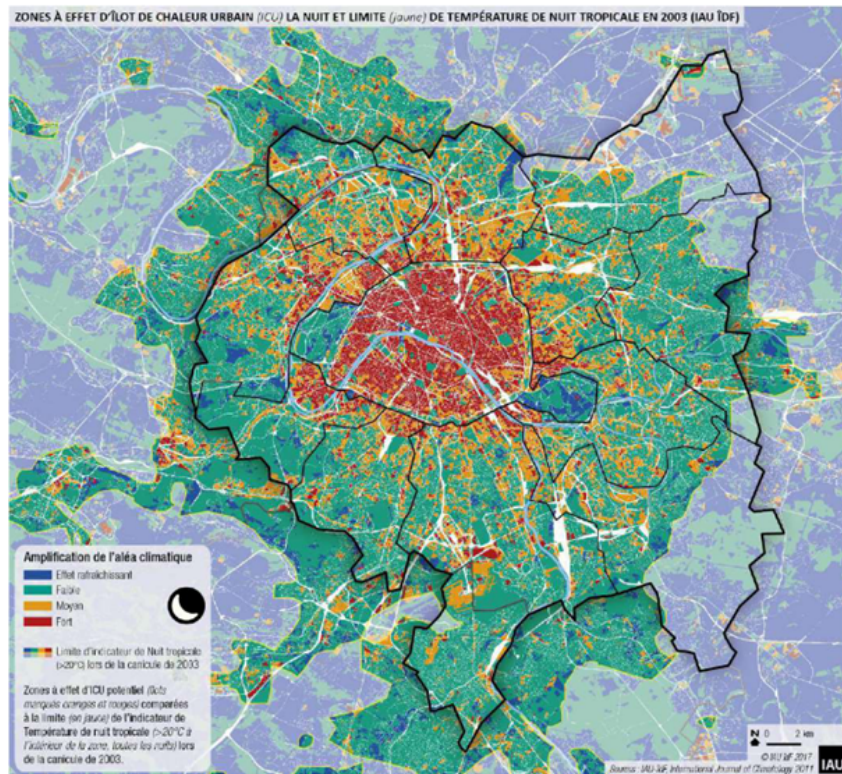


Figure 23 : Zones à effet d'îlots de chaleur urbain en 2003. Source : IAU

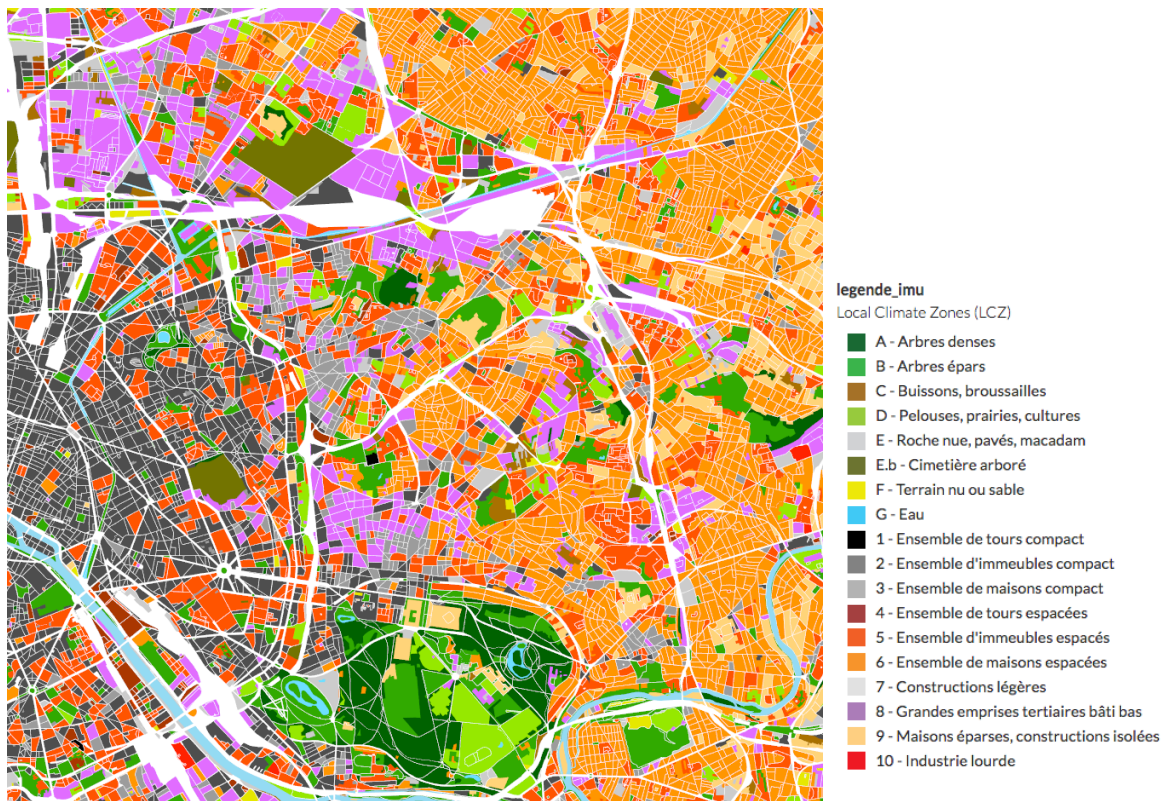


Figure 24 : Zones locales climatiques déterminées par l'IAU. Source : cartoviz iau

Ce phénomène est marqué à Est Ensemble du fait de la densité urbaine (Figure 23), mais relativement atténué par les espaces verts existants. Le recensement des zones locales climatiques de l'IAU (Figure 24) montre la proximité de zones très défavorables aux ICU et de zones de mitigation.

## 2.5. Analyse des mobilités résidentielles à Est-Ensemble

Nous concluons cette partie par une analyse des dynamiques de population à Est-Ensemble que nous analysons à partir des fichiers de détail du recensement de 2015. Nous cherchons à déterminer si la population qui s'est installée récemment à Est-Ensemble (fichier MIGCOM) présente un profil socioéconomique différent de celui de la population en place, pour détecter d'éventuels phénomènes de gentrification ou de paupérisation, ou encore de structure des ménages.

### 2.5.1. Profils socioéconomiques des derniers arrivés sur le territoire

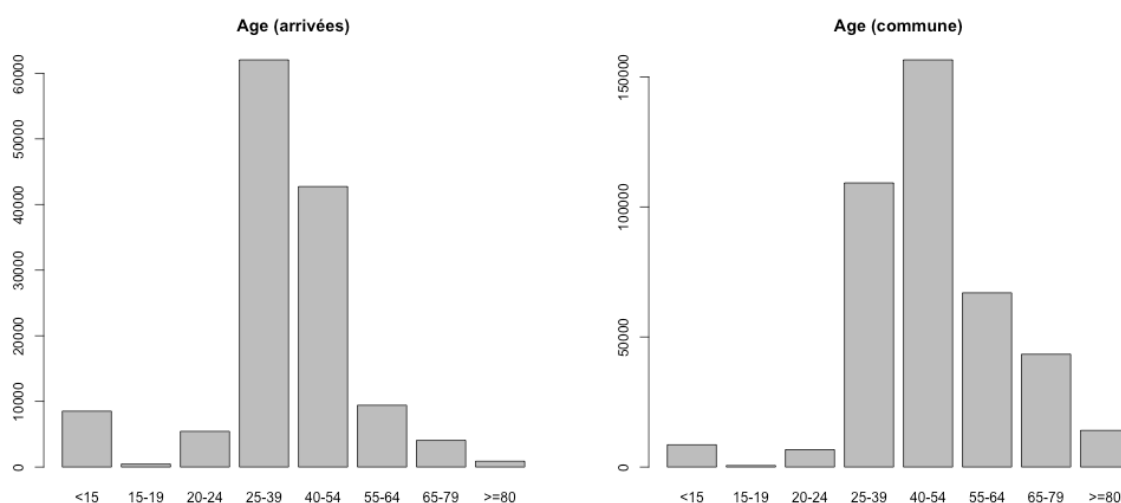


Figure 25 : Structure des âges des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

Les arrivants des cinq dernières années sont relativement plus jeunes que la population en place (figure 25). Il faut noter que les ménages arrivés depuis moins de 5 ans représentent 35% des ménages d'Est-Ensemble. Cependant, ils ont sensiblement les mêmes professions et mêmes qualifications (figures 26 et 27), suggérant une stabilité très forte des profils socioéconomiques des habitants du territoire.

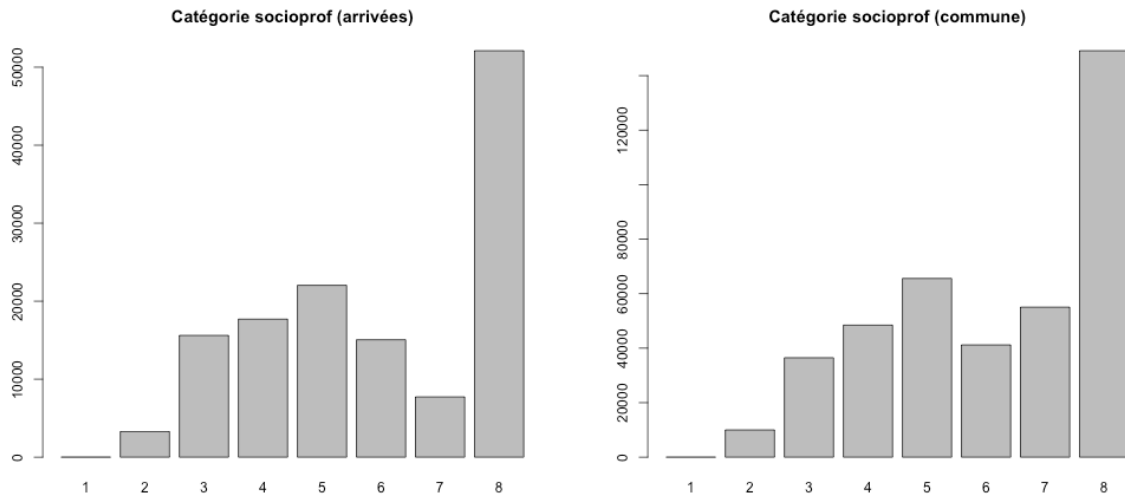


Figure 26 : Structure des professions et catégories socio-professionnelles des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

- 1 : Agriculteurs exploitants
- 2 : Artisans, commerçants et chefs d'entreprise
- 3 : Cadres et professions intellectuelles supérieures
- 4 : Professions Intermédiaires
- 5 : Employés
- 6 : Ouvriers
- 7 : Retraites
- 8 : Autres personnes sans activité professionnelle

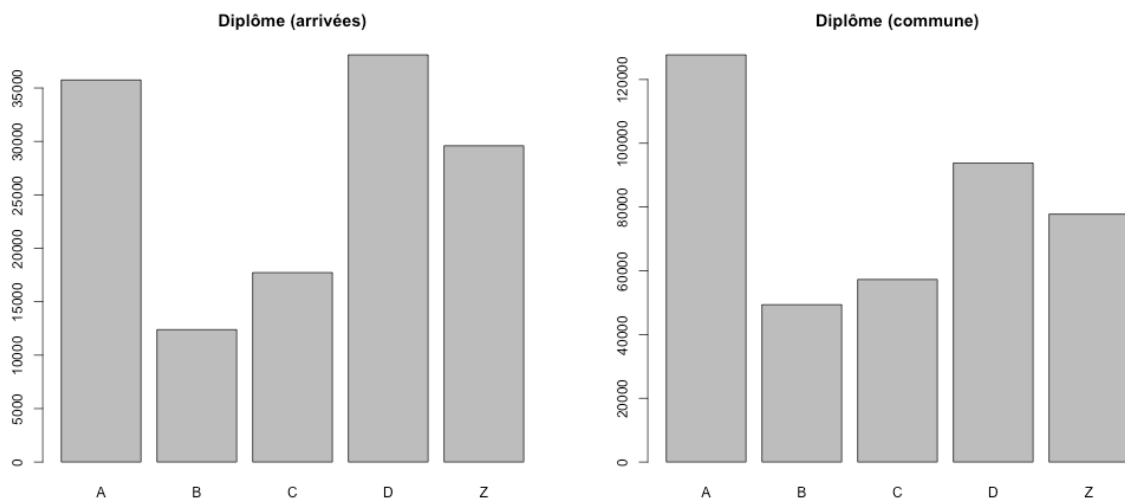


Figure 27 : Structure des diplômes des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

Les ménages arrivant à Est-Ensemble ont également la même structure que ceux en place (figure 28), avec une majorité d'hommes vivant seul (11), de femmes vivant seules (12), et de couples biactifs (41).

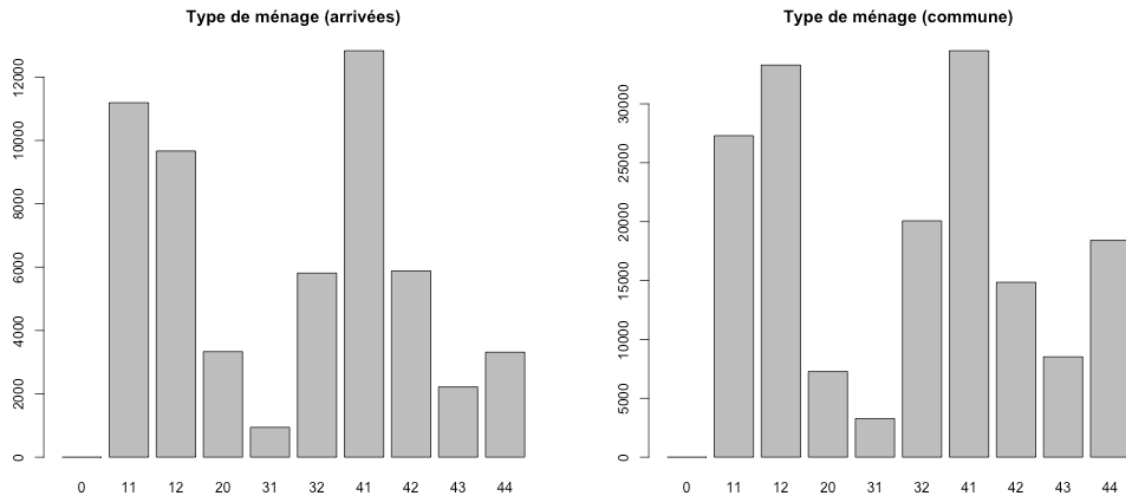


Figure 28 : Types de ménages des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

- 11 : Homme vivant seul
- 12 : Femme vivant seule
- 20 : Plusieurs personnes sans famille
- 31 : Famille principale monoparentale composée d'un homme avec enfant(s)
- 32 : Famille principale monoparentale composée d'une femme avec enfant(s)
- 41 : Famille principale composée d'un couple où l'homme et la femme ont tous les deux le statut d'actif ayant un emploi
- 42 : Famille principale composée d'un couple où seul l'homme a le statut d'actif ayant un emploi
- 43 : Famille principale composée d'un couple où seule la femme a le statut d'actif ayant un emploi
- 44 : Famille principale composée d'un couple où ni l'homme ni la femme n'ont le statut d'actif ayant un emploi

Le statut d'occupation (figure 29) du logement montre d'une part l'importance du logement social sur le territoire (22) ainsi que la part très importante propriétaires (10), tandis que les nouveaux arrivants sont plutôt locataires dans le privé (21).

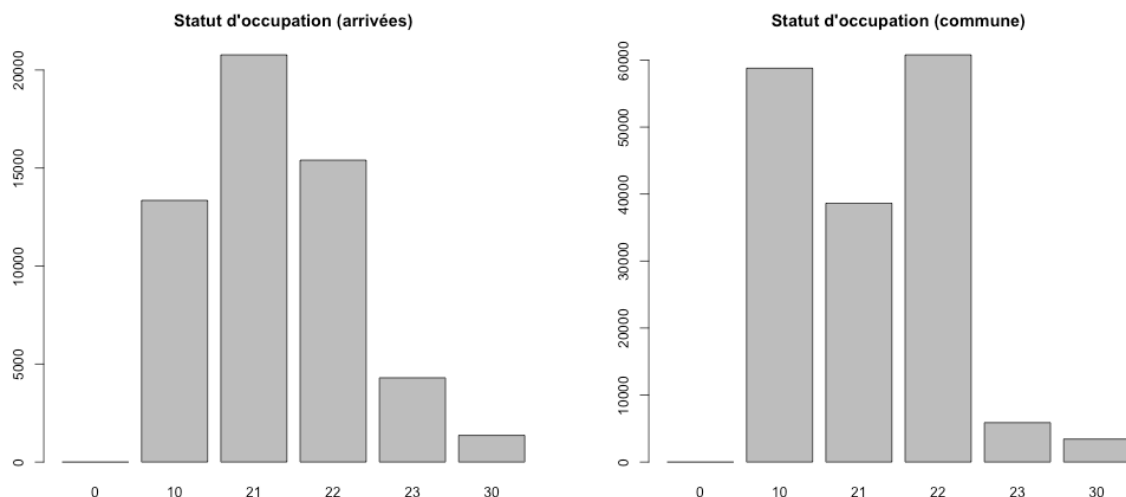


Figure 29 : Statut d'occupation des logements des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

- 00 : Logement ordinaire inoccupé
- 10 : Propriétaire



21 : Locataire ou sous-locataire d'un logement loué vide non HLM  
 22 : Locataire ou sous-locataire d'un logement loué vide HLM

Enfin, la répartition entre maisons (1) et appartements (2) est quasiment inchangée entre les derniers arrivés et la population en place (figure 30).

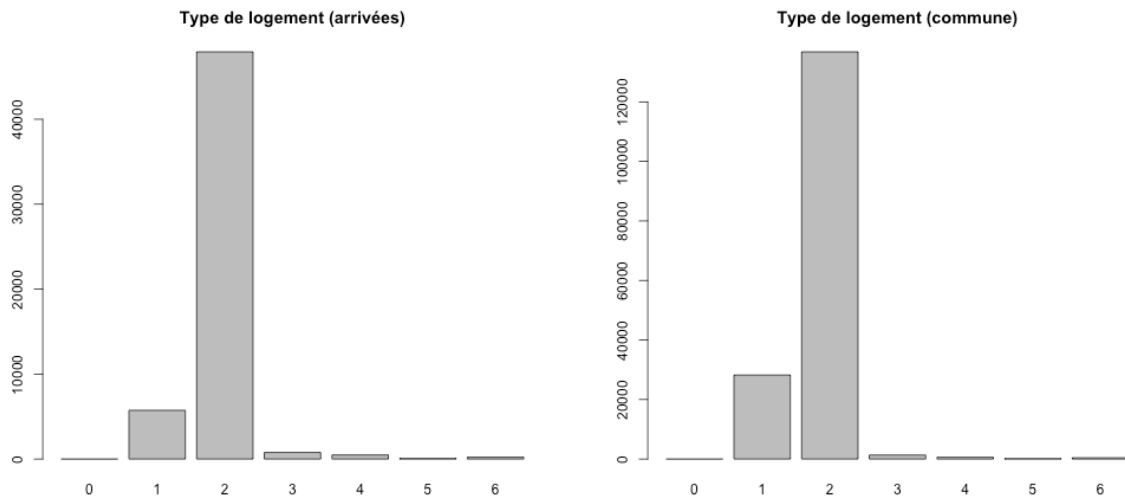


Figure 30 : Type de logement des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune

- 1 : Maison
- 2 : Appartement
- 3 : Logement-foyer
- 4 : Chambre d'hôtel
- 5 : Habitation de fortune
- 6 : Pièce indépendante (ayant sa propre entrée)

Les ménages arrivés dans les cinq dernières années à Est-Ensemble viennent soit de l'extérieur de l'Île-de-France, soit de communes de l'agglomération, dont la répartition est représentée par la figure 31.

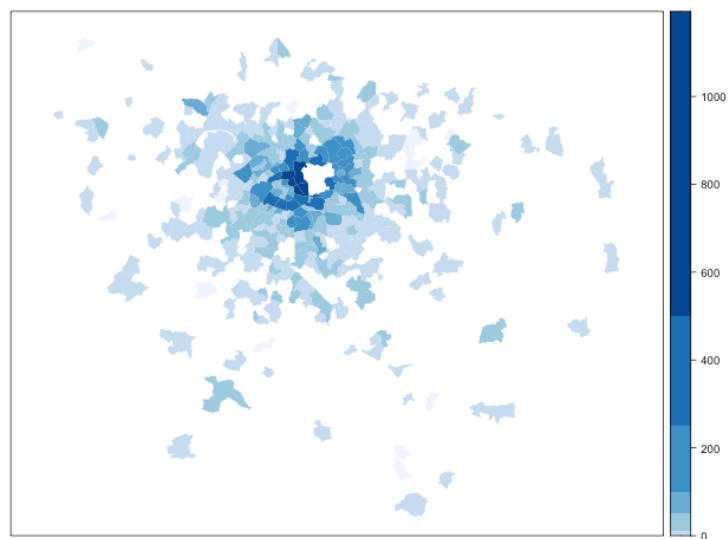


Figure 31 : Commune d'origine des migrations résidentielles vers Est-Ensemble

Le territoire a une zone d'attraction nettement locale, en desserrement de Paris.

L'ensemble de ces éléments justifie le fait que nous considérerons que la structure socioéconomique de la population reste stable sur Est-Ensemble, et n'évoluera pas de manière significative dans les années à venir.

### 2.5.2. Mobilité domicile-travail

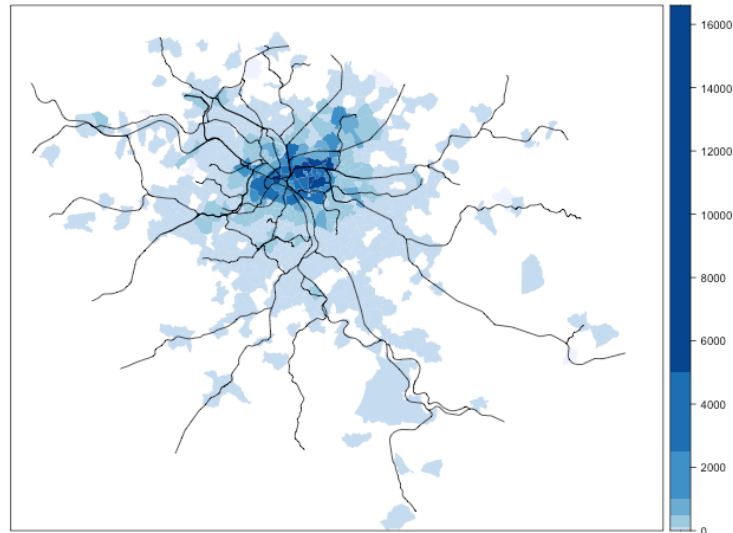


Figure 32 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (tous modes confondus)

La carte des localisations des lieux d'emploi des habitants d'Est-Ensemble (figure 32), établie avec le fichier de détail MOBPRO du recensement de 2015, montre un rayonnement surtout local, sur l'est parisien. Les cartes par modes permettent d'affiner ce diagnostic.

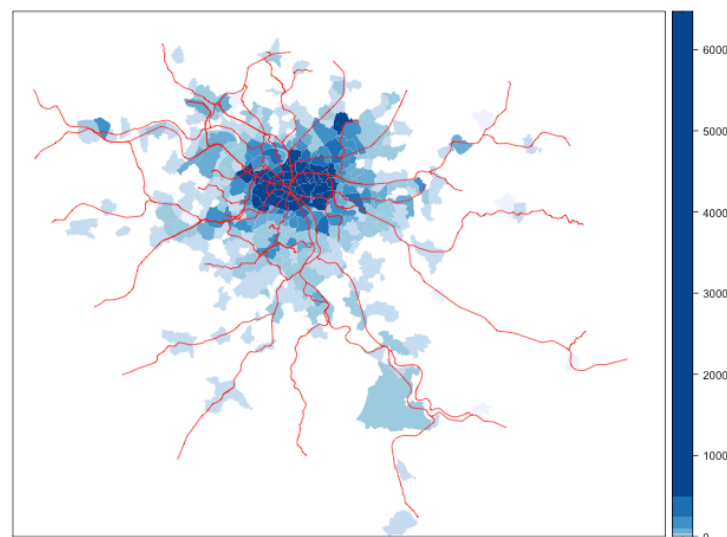


Figure 33 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler en transports en commun)

Les individus allant travailler en transports en commun (mode majoritaire) (figure 33) travaillent principalement à Paris et à proximité d'Est-Ensemble, avec un effet réseau très marqué.

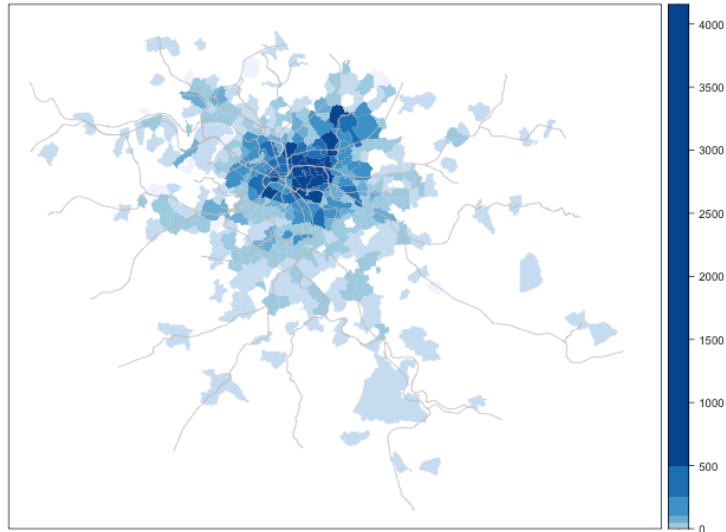


Figure 34 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler en véhicule particulier)

La voiture (figure 34) sert à aller principalement dans les zones d'emploi situées au nord d'Est-Ensemble, mal desservies par les transports en commun, avec des portées de déplacement limitées.

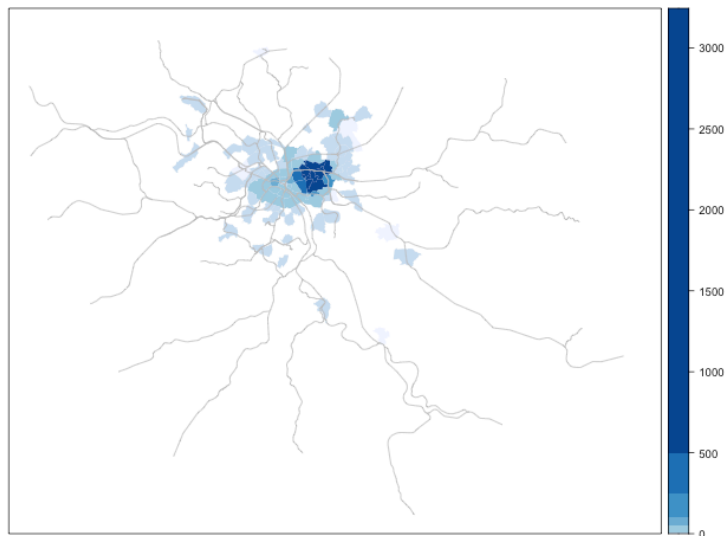


Figure 35 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler à pied)

Enfin, sans surprise, la marche est locale (figure 35), même si des communes sont clairement trop éloignées pour être vraisemblables, ce qui révèle les limites de la source du recensement pour étudier la mobilité, et notamment les modes doux et actifs.

## 3. Méthode de scénarisation générale

---

### 3.1. Exercice de prospective sur les questions de ville et d'énergie

#### 3.1.1. Analyse structurelle

Lors de projets de recherche mobilisant des scénarios d'évolution urbaine, on est souvent amené à faire des hypothèses sur l'évolution de facteurs en dehors du domaine de compétence du projet, mais susceptibles d'avoir une influence non négligeable. Par exemple, dans un projet qui s'intéresse à l'aménagement des villes à moyen terme et à l'influence de cet aménagement sur les mobilités, l'évolution de la démographie, des prix de l'énergie ou encore l'irruption de nouvelles technologies de production d'énergie peuvent constituer des éléments sur lesquels il est utile de faire des hypothèses.

Le travail de prospective urbaine, tel que nous l'avons abordé dans SOFT, consiste à recenser l'ensemble des facteurs pertinents pour analyser l'évolution d'un système, puis à faire des hypothèses sur les valeurs futures possibles ou probables de ces facteurs.

Le présent travail a été construit par un petit groupe de chercheurs possédant des compétences complémentaires dans le domaine de la géographie, de l'urbanisme, de l'hydrologie urbaine et des systèmes énergétiques.

L'approche adoptée consiste à tester en situation une méthode ancienne de prospective, importée des Etats-Unis, et appelée « analyse structurelle » par ses promoteurs français. Elle a fait l'objet d'une thèse de doctorat, celle de J.-F. Lefèvre en 1982 (« L'analyse structurelle, méthodes et développements ») – non consultée. Le champ disciplinaire semble être celui du génie industriel.

La méthode consiste à recenser un ensemble de facteurs ou variables susceptibles d'avoir un effet sur le système, et à établir un graphe orienté entre ces facteurs, une flèche de A vers B signifiant que A a une influence sur B. Ce graphe peut être ensuite analysé avec les outils de la théorie des graphes, de manière à mettre en évidence les variables les plus importantes. Cette analyse repose sur deux concepts :

- la distinction entre variables internes (= endogènes, dont on cherche à connaître l'évolution), et externes (= exogènes, variables qui expliquent directement ou indirectement les variables internes) ;
- l'analyse des variables dans le plan motricité-dépendance (motrice = influant beaucoup sur le système, dépendante = liée à d'autres variables), pour opérer la distinction entre variables explicatives pures (très motrices et peu dépendantes), variables résultat (peu motrices et très dépendantes), variables autonomes et variables relais.

Le travail a consisté d'abord à recenser les variables ou facteurs susceptible d'avoir un lien avec les consommations d'énergie en ville, (avec environ 80 variables lors du premier jet), puis à remplir un tableau indiquant les influences certaines ou potentielles entre variables, soit la matrice d'adjacence du graphe à analyser. Un premier exercice de remplissage a permis de s'appropriier les concepts, et de faire converger la liste de variables lors de la deuxième séance vers un nombre plus restreint de variables (environ 60), avec également une bien meilleure similitude entre les tableaux remplis de manière indépendante par différentes personnes.

Soulignons ici un point de difficulté dans la terminologie. Le caractère interne ou externe des variables n'est pas un critère lié à un périmètre spatial (interne ou externe à la ville), mais thématique (interne ou externe par rapport aux consommations énergétiques).

#### 3.1.2. Liste des variables retenues

Nous présentons la liste des variables que nous avons retenues après plusieurs itérations ; les noms des variables sont généralement suffisants pour donner une idée précise de leur contenu. C'est lors de l'exercice de modélisation proprement dit que se posera la question de la quantification de ces variables.

##### 3.1.2.1. Variables à expliquer

Nous avons sélectionné les variables à expliquer par grands domaines : bâtiments et équipements, transport et mobilité, énergie et environnement.

- **Bâtiment / équipement**

---

- consommations résidentielles
- consommations tertiaires
- consommations industrielles
- consommation éclairage public
- consommations autres équipements urbains

### **Transport / Mobilité**

---

km parcourus par mode

### **Energie**

---

quantité d'énergie produite localement  
prix de l'énergie produite localement  
part de local dans l'énergie consommée

### **Environnement**

---

îlots de chaleur  
qualité de l'air  
biodiversité

### **3.1.2.2. Variables explicatives**

Les variables explicatives sont regroupées par domaines d'actions ; une variable explicative peut elle-même dépendre d'autres variables, ce qui sera révélé dans l'analyse structurelle.

### **Diffusion/Adoption d'une technologie**

---

Augmentation de la flotte de véhicules autonomes (absence de conducteur)  
Augmentation de la part de marché des moteurs hydrogène (changement de carburant)  
Augmentation de la méthanisation locale (micro-méthanisation individuelle)  
Diffusion de nouveaux systèmes électriques (locaux et réseaux) (Amélioration des rendements, nouveaux standards, dégradation d'un système...)  
Diffusion de nouveaux systèmes gaz (locaux et réseaux)  
Diffusion de nouveaux systèmes thermiques (locaux et réseaux)  
Amélioration de la performance thermique du bâti (neuf et réno)  
Augmentation de la part de marché de la domotique  
Augmentation de la part de marché des véhicules électriques lourds (voitures, camions, motos, ...)  
Augmentation de la flotte de véhicules électrique de mobilité locale (trottinette, segway, VAE...)

### **Economie**

---

prix des carburants  
prix de l'électricité  
prix du gaz  
prix de la chaleur  
croissance du PIB

## **Démographie**

---

Viellissement de la population

Immigration plus massive

Augmentation de la décohabitation (éclatement des ménages)

## **Comportements**

---

Adoption croissante des modes doux et actifs

Frugalité croissante

Croissance des usages nécessitant de l'énergie

Croissance du télétravail / télécentres

Augmentation de la consommation de produits locaux

Augmentation de l'autoproduction

Diminution des déchets

Augmentation des équipements domestiques

Mutualisation d'équipements

Développement de l'habitat partagé

Développement des jardins partagés

Généralisation de la climatisation individuelle

Diminution de l'éclairage bureaux - commerces - rues

Augmentation de l'autopartage (usage individuel)

Augmentation de la mobilité partagée (covoiturage, VTC)

## **Politiques / réglementation**

---

incitation au changement de carburant

incitation à la mobilité alternative à la voiture

incitation aux développements d'ENR

incitation aux économies d'énergie (existant)

durcissement de la RT (neuf)

facilitation juridique de l'autoconsommation énergétique

augmentation de la méthanisation dans les UIOM et les STEU

## **Environnement / climat**

---

Augmentation globale des températures

Augmentation des extrêmes de température

## **Occupation du sol urbain**

---

territoire accessible à énergie donnée

Densification, habitat vertical

Augmentation trames vertes et bleues

Augmentation des espaces réservés à la production d'énergie

Une lecture rapide de la liste des variables retenues révèle à quel point l'énergie peut être présente dans tous les domaines de la ville, ainsi que des interdépendances probables des systèmes.

### **3.1.3. Matrice d'adjacence : relations entre les variables**

Trois matrices d'adjacence ont été renseignées de manière indépendante par trois chercheurs. Il a été procédé à leur alignement en calculant pour chaque case la somme des effets indiqués, avec 0,1 lorsque l'effet est potentiel. On obtient ainsi :

- 3 : consensus sur l'effet d'une variable sur l'autre
- 2 : deux sur trois indiquent l'effet
- 0,3 : consensus sur l'effet potentiel
- ...

Il a donc été décidé de conserver les 3 et les 2, ainsi que les 0,3, transformés en 3, et de passer en revue les cas autres que les 1, notamment les 1,1. L'analyse de l'ensemble des cas a permis d'arriver à un tableau quasi-définitif, où l'on passera encore en revue les 1 avant suppression définitive.

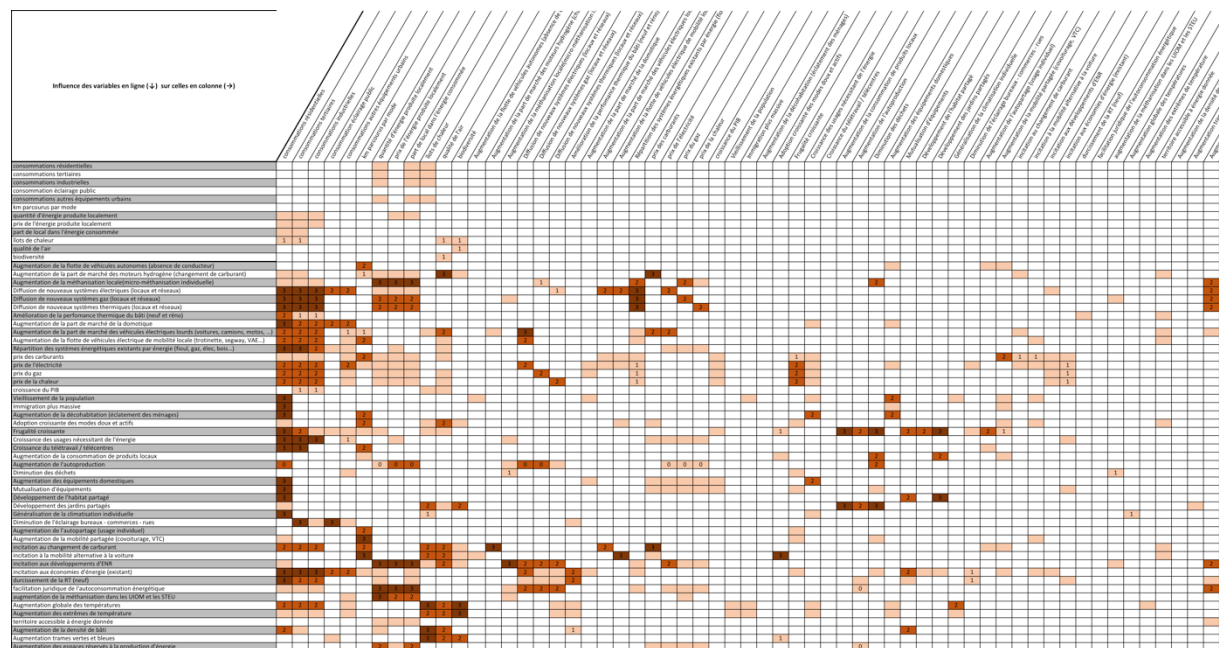


Figure 36 : Matrice d'adjacence du graphe des variables

La matrice d'adjacence du graphe des variables (figure 36) se lit de la manière suivante. Les valeurs 1 (resp. 2 et 3) indiquent qu'un chercheur (resp. deux et trois) considère que la variable en ligne a une influence sur la variable en colonne. Les cases colorées claires sans chiffres correspondent aux liens entre variables pour lesquels un arbitrage a été effectué ; les cases colorées foncées celles pour lesquels un consensus entre les chercheurs existait.

La matrice est clairement très creuse, ce qui est heureux. Si de nombreuses relations indirectes entre les variables existent, on trouve des groupes et des chemins de dépendance. C'est cette analyse qui permet de sélectionner et classer les variables.

### 3.1.4. Analyse de la matrice d'adjacence du graphe des relations entre variables

Le graphe a une densité de 0,137 (rapport entre le nombre d'arêtes du graphe, et le nombre total d'arêtes), confirmant son caractère lacunaire. Son diamètre est de 10 (plus long chemin entre deux variables), révélant qu'il existe des relations indirectes complexes entre certaines variables. Enfin, il est utile de regarder en première intention le degré entrant et le degré sortant de chaque variable.

Une variable possédant un degré entrant important sera une variable expliquée par de nombreuses autres variables, ou encore une variable fortement dépendante.

Liste des dix variables de plus fort degré entrant

Consommations résidentielles (70)  
Consommations tertiaires (47)  
Consommations industrielles (37)  
Km parcourus par mode (24)  
Qualité de l'air (23)  
Quantité d'énergie produite localement (18)  
Îlots de chaleur (18)  
Part de local dans l'énergie consommée (17)  
Prix de l'énergie produite localement (15)  
Répartition des systèmes énergétiques existants par énergie (14)

On trouve sans surprise les variables à expliquer du système. Par exemple, les kilomètres parcourus par mode dépendent de 24 autres variables.

Une variable possédant un degré sortant important influera sur de nombreuses variables du système ; c'est une variable motrice dans le vocabulaire de l'analyse structurelle.

*Liste des dix variables de plus fort degré sortant*

Diffusion de nouveaux systèmes électriques locaux (25)  
Frugalité croissante (24)  
Incitation aux développements d'ENR (24)  
Diffusion de nouveaux systèmes gaz locaux (22)  
Diffusion de nouveaux systèmes thermiques locaux (22)  
Incitation au changement de carburant (20)  
Incitation aux économies d'énergie existant (20)  
Augmentation de la méthanisation locale micro méthanisation individuelle (18)  
Augmentation de la part de marché des véhicules électriques (17)  
Facilitation juridique de l'autoconsommation énergétique (17)

Le travail mené a mis en évidence l'importance des changements de comportement et des incitations, en sus des développements de nouvelles technologies.

Un indice comme la *betweenness*, qui compte pour le nombre de plus courts chemins passant par chaque nœud, donne une indication des variables qui seront à la fois motrices et dépendantes. C'est le cas de la diffusion de nouveaux systèmes électriques locaux, de la frugalité croissante, mais aussi de la diminution des déchets, ni très dépendante ni très motrice, mais sur de nombreux chemins de dépendance entre variables.

Il est possible d'effectuer ces mêmes analyses de degré en ne considérant pas uniquement les relations directes, mais également celles d'ordre  $p$ . Pour ce faire, il suffit d'élever la matrice d'adjacence à la puissance  $p$  et de recalculer les degrés entrant et sortant. Le classement des variables selon leur degré entrant et sortant a tendance à se stabiliser au fur et à mesure que  $p$  augmente, du fait de la portée moyenne limitée des relations dans le graphe.

Nous avons retenu  $p=5$ , ce qui permet de prendre en compte des effets relativement indirects. Une représentation graphique des nœuds du graphe (variables) en fonction de leur degré entrant (en abscisse) et de degré sortant (en ordonnée) (figure 37) constitue une représentation dans le plan « motricité – dépendance » utile pour caractériser les tendances lourdes et les variables relais.



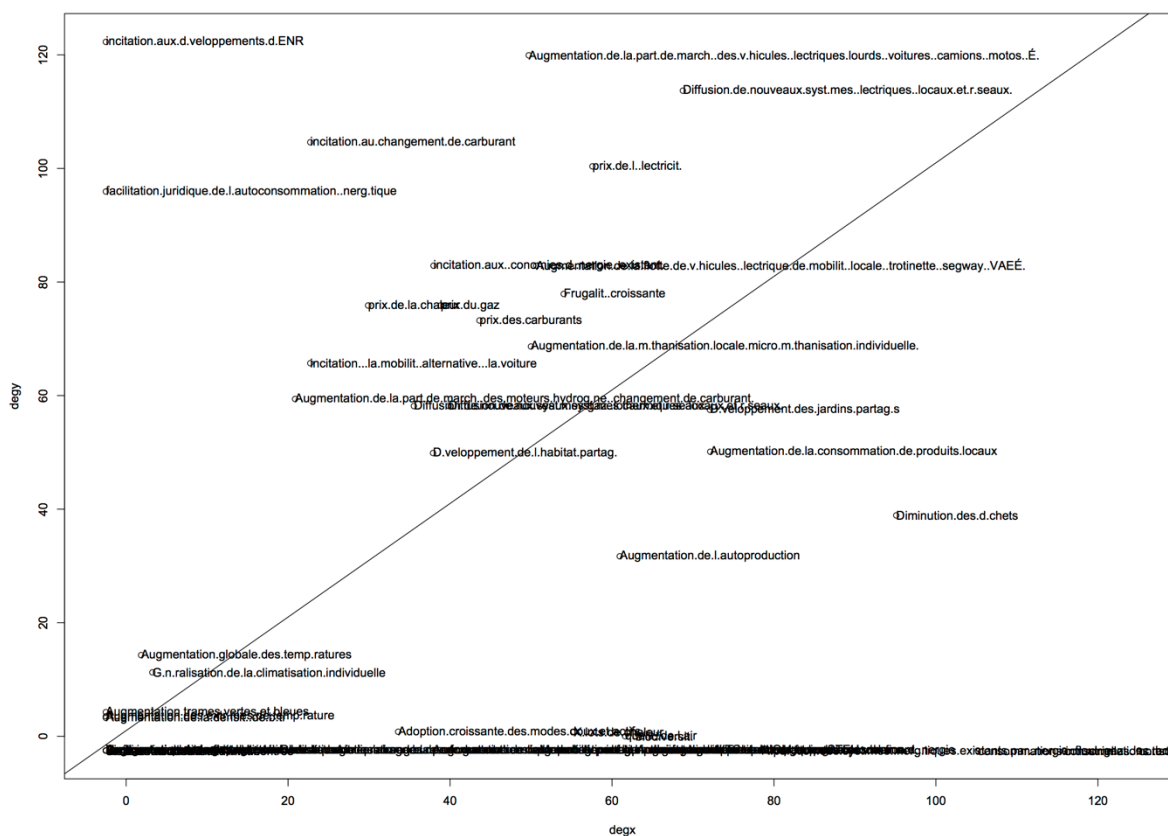


Figure 37 : Représentation des variables selon leur degré entrant et sortant ; la matrice d'adjacence du graphe a été élevée à la puissance 5

Les variables placées horizontalement en bas du graphe (dont le nom devient de ce fait illisible) sont les variables de résultat pur : uniquement dépendantes, et non motrices. Ce sont principalement les consommations d'énergie dans différents secteurs.

Certaines variables sont fortement motrices et non dépendantes : l'incitation au développement d'ENR et la facilitation juridique de l'autoconsommation énergétique. De ces variables, indépendantes du reste du système, dépendent de nombreuses autres variables.

Les tendances lourdes se situent en bas à gauche du graphe : l'augmentation globale des températures, la généralisation de la climatisation individuelle, l'augmentation des trames vertes et bleues, l'augmentation des extrêmes de température.

Enfin, le milieu du graphe identifie de nombreuses variables relais, à la fois motrices et dépendantes. La modélisation devra être attentive à prendre en compte correctement ces variables et leurs interdépendances. On trouve deux paquets de variables. Les premières sont un peu plus motrices que dépendantes : prix des carburants, augmentation de la part de marché des véhicules électriques et hybrides, développement de l'habitat partagé, frugalité croissante, incitations aux mobilités alternatives à la voiture. Les deuxièmes sont un peu moins motrices et plus dépendantes : développement de la consommation de produits locaux, de l'autoproduction, diminution des déchets, développement des jardins partagés, adoption des modes doux.

### 3.1.5. Enseignements pour la modélisation

L'exercice d'analyse structurelle mené pour la construction des scénarios du projet SOFT a permis d'identifier une partie des nombreuses relations qui existent entre les variables susceptibles de jouer un rôle dans les questions d'énergie en ville.

L'importance potentielle de l'agriculture en ville, de l'autoproduction, des politiques de réduction des déchets, ainsi que le rôle clé de la mobilité, interdépendante, ont été confirmés.

Enfin, cette analyse a mis en exergue l'importance de travailler la question des changements de comportement et des incitations, déjà relevée lors de la phase de diagnostic territorial.

### 3.2. Proposition d'un cadre formel de construction de scénarios intégrant le concept de sobriété

L'approche dans SOFT de la construction des scénarios, orientée vers la sobriété, doit concilier plusieurs dimensions qui seront explorées dans les différents chapitres de ce rapport, toutes articulées par la question de l'usage du sol. Nous avons ainsi mis en évidence trois éléments directement liés au territoire et ayant potentiellement un impact sur les consommations énergétiques, et deux éléments directement liés aux comportements, qui constituent des leviers d'action (Tableau 3).

	Nature	Bénéfices attendus en matière d'énergie
Dimension territoriale	Accessibilité / mixité des fonctions	Diminution des distances parcourues du fait d'une meilleure offre de services et une meilleure répartition des aménités
	Agriculture / maraîchage	Circuits courts, recyclage, diminution des importations
	Production locale d'énergie	Augmentation de la production pour aller vers l'autonomie énergétique
Dimension liée aux comportements	Frugalité / sobriété des consommations	Diminution des consommations d'énergie à qualité de vie équivalente ou supérieure
	Mobilité	Réduction de la mobilité à qualité de vie équivalente ou supérieure

Tableau 3 : recensement des leviers territoriaux et comportementaux pour aller vers la sobriété énergétique

Chacun de ces leviers est analysé suivant deux axes relativement indépendants, créant ainsi par croisement quatre archétypes, mais laissant la place à une infinité de possibilités intermédiaire. Le premier axe est celui de l'autonomie, selon que le territoire considéré se pense en autonomie par rapport à la métropole à laquelle il appartient, ou au contraire comme un élément fortement connecté à un territoire en réseau. C'est un axe plutôt structurel. Le deuxième axe est celui du mode d'action envisagé, soit individuel, voire individualiste, soit collectif.

#### 3.2.1. Accessibilité

L'accessibilité, déclinée dans notre système d'axes, se matérialise par quatre archétypes facilement identifiables (figure 38). Un territoire orienté vers le collectif, et mettant en avant sa connexion aux autres territoires, est typique d'une métropole. Si ce territoire est tout aussi connecté, mais privilégie l'individuel, avec le mode d'habitat et de mobilité associés, on se trouve dans le cas d'un territoire périurbain. Si ce même territoire vise plutôt l'autonomie, il prendra l'aspect d'une ville de province s'il est orienté vers le collectif, ou d'un village de campagne s'il favorise l'individuel.

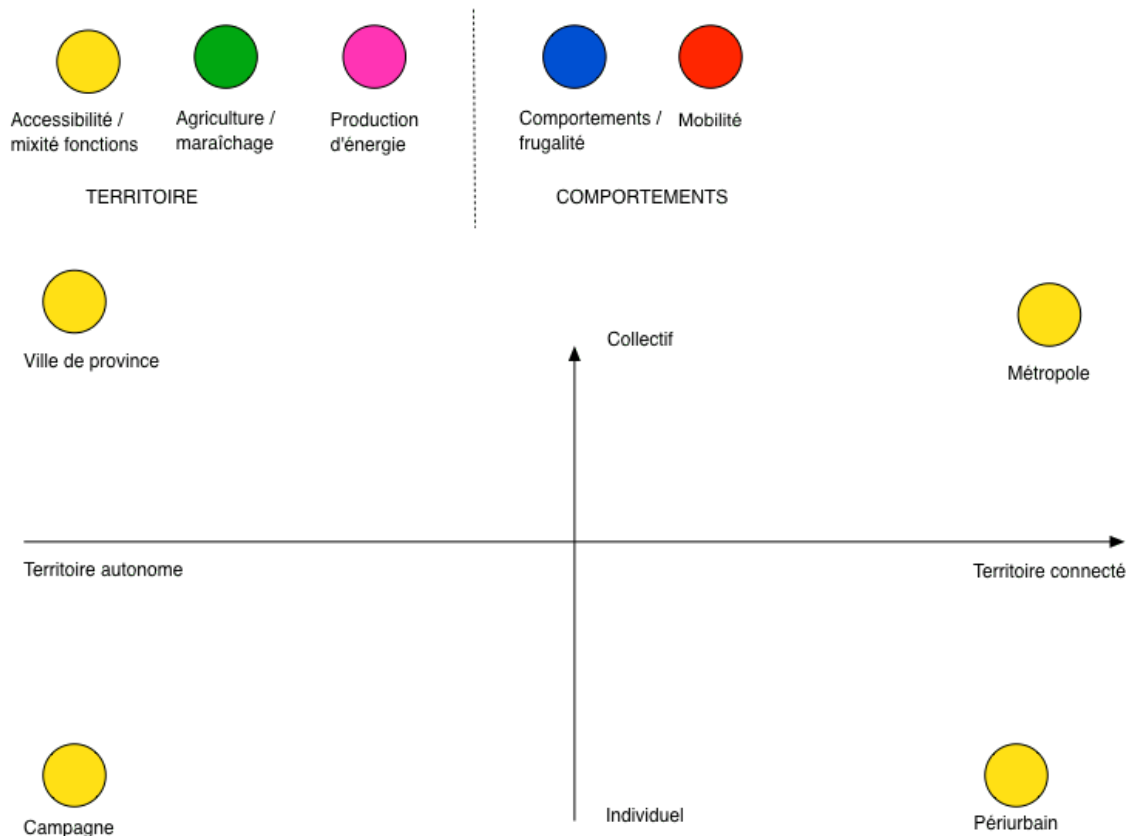


Figure 38 : Grille d'analyse de l'accessibilité

L'autonomie comme la connexion présente des avantages en matière d'accessibilité : de manière évidente l'autonomie est utile si tous les services sont présents sur le territoire, mais une mise en réseau performante permet également de ne pas dupliquer les ressources rares en maintenant un niveau d'accessibilité très élevé aux aménités. L'option individuelle renvoie assez naturellement au mode de transport du véhicule particulier, avec les nuisances associées et les consommations d'énergie peu favorables par rapport aux transports en commun.

### 3.2.2. Agriculture

L'agriculture urbaine (figure 39), peut prendre différents aspects et nuances dans la grille d'analyse. Une orientation vers le collectif se décline en jardins partagés, si on est sur un territoire plutôt autonome, ou vers une vraie agriculture urbaine de production si le territoire est en réseau et destine une partie de sa production à l'export. Une position plus individuelle sur cet axe se décline en potagers, si on favorise l'individuel, voir même en cultures de niche très spécialisées, comme les herbes aromatiques, si on destine sa production à l'export, ou l'on se retrouve dans un habitat dense qui ne laisse la place qu'à des cultures en pots sur un balcon.

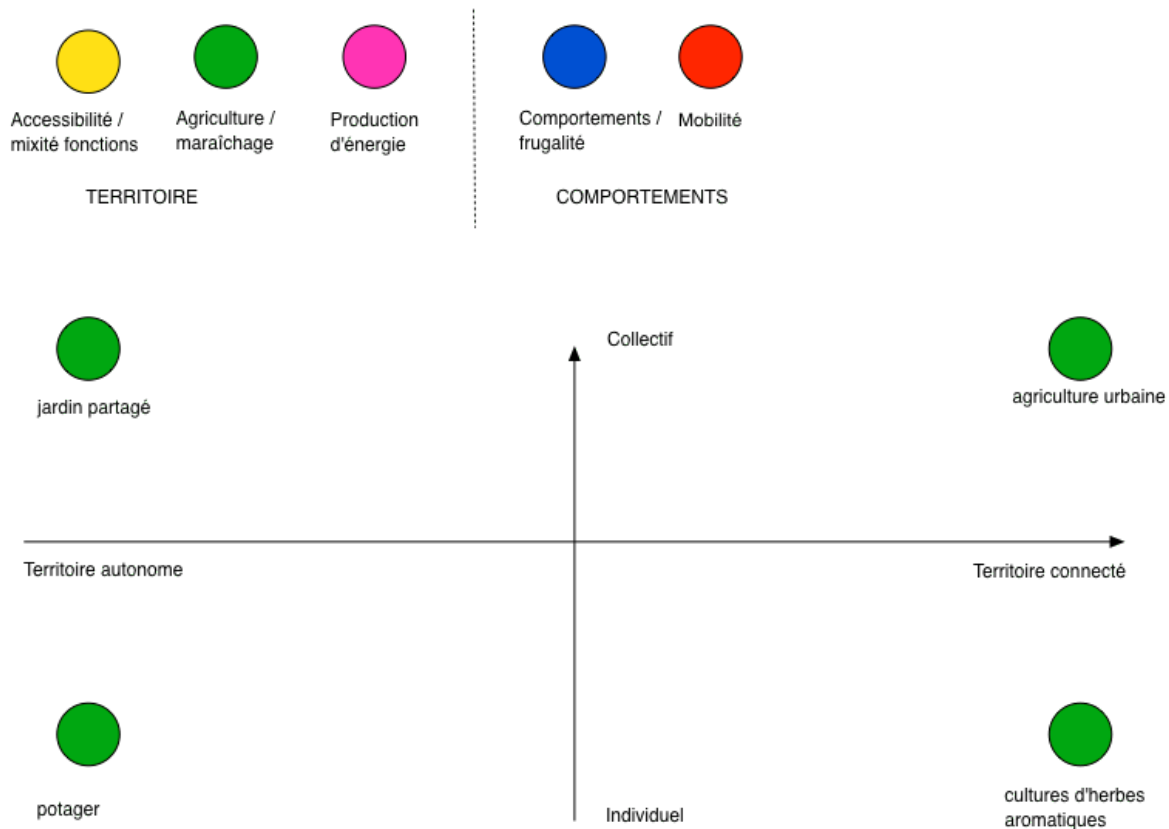


Figure 39 : Grille d'analyse de l'agriculture urbaine

### 3.2.3. Production d'énergie

La production locale d'énergie prend des formes très typiques dans cette grille d'analyse (figure 40). L'individuel autonome correspond au cas de la déconnexion complète du réseau, soit de l'autarcie pure et simple, tandis que l'individuel collectif est la situation la plus courante, celle de ménages connectés à de réseaux et passifs, non producteurs. L'option du collectif connecté est celle du *smart grid*, ou un superviseur tire parti des différentes consommations et productions en temps réel, tandis que la préférence pour le collectif, mais en autonomie, prend des formes comme celle de l'autoconsommation collective.

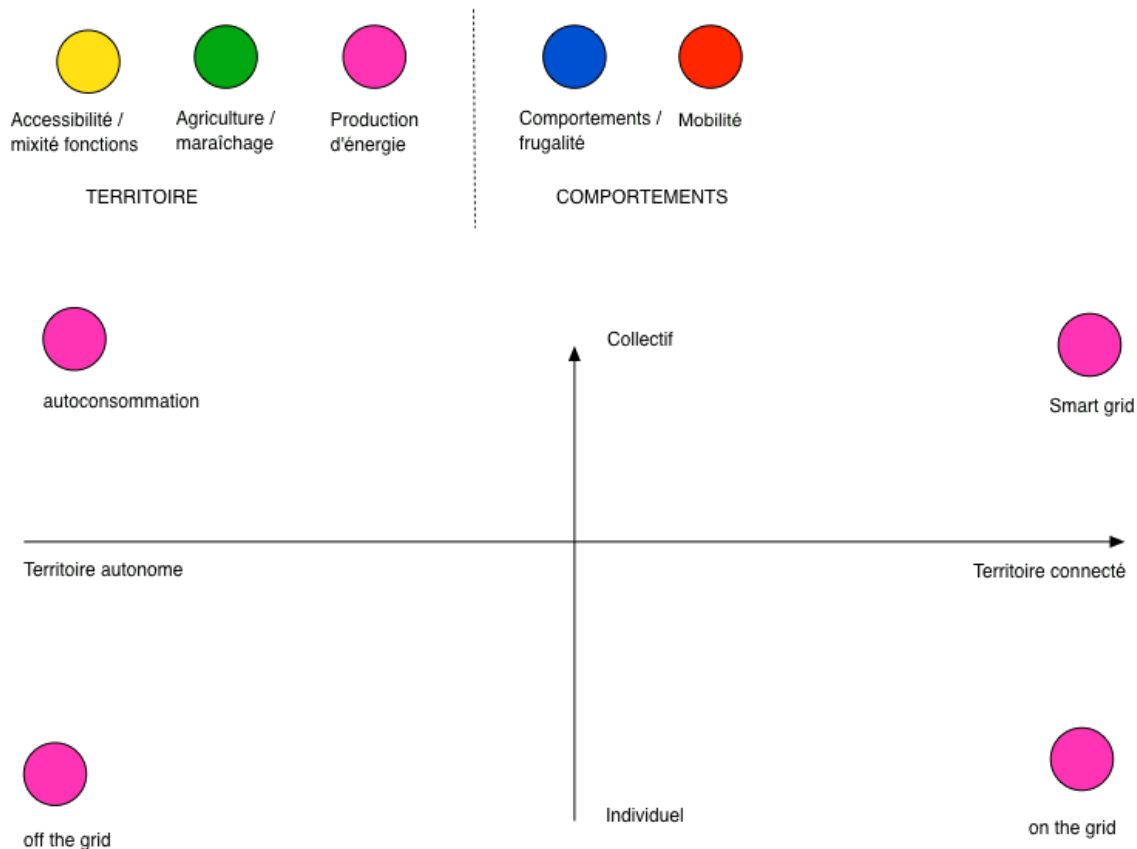


Figure 40 : Grille d'analyse de la production d'énergie

### 3.2.4. Comportements de consommation

Les comportements de consommation (Figure 41) se déclinent en une préférence pour le local, si on est dans l'autonomie et le collectif, ou à l'opposé pour l'achat par correspondance et surtout sur internet si on est partisan de l'individuel et dans un territoire connecté. L'autre diagonale est un peu plus complexe à analyser. Une attitude tournée vers l'autonomie et l'individualisme correspondent aux attitudes militantes qualifiées de « décroissantes », partisans d'une lutte contre la société de consommation, tandis qu'une attitude de consommation collective et dans un territoire connecté correspond à toutes les nouvelles formes de consommation qui passent par le *crowd-funding*, la vente d'objets d'occasion sur des sites spécialisés, ou encore les séries limitées et fabrications à la demande, comme par exemple les impressions de livre sur internet.

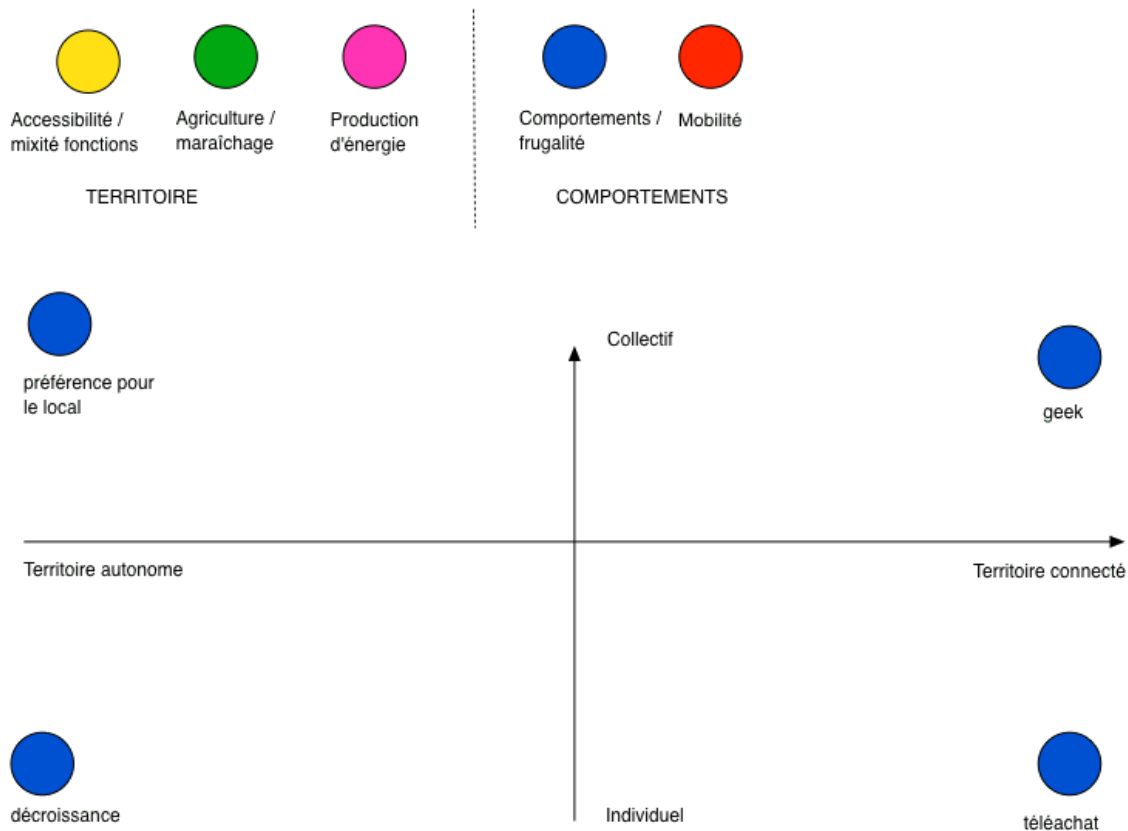


Figure 41 : Grille d'analyse des comportements de consommation

### 3.2.5. Mobilité

Enfin, les comportements de mobilité analysés dans cette même grille d'analyse (Figure 42) peuvent s'illustrer par les modes. Ils prennent la forme de la voiture individuelle lorsque l'on est partisan de l'individuel et de l'autonomie, et à l'inverse des transports en commun lorsqu'on est partisan du collectif et de la mise en réseau, dans un territoire connecté. Un comportement individuel dans un territoire de ce type s'appuiera sur des services de mobilité comme autolib', autopartage ou mobilité à la demande, tandis que la mobilité dans un territoire autonome, mais en mode collectif, prendra la forme d'un taxibrousse, voire de l'auto-stop.

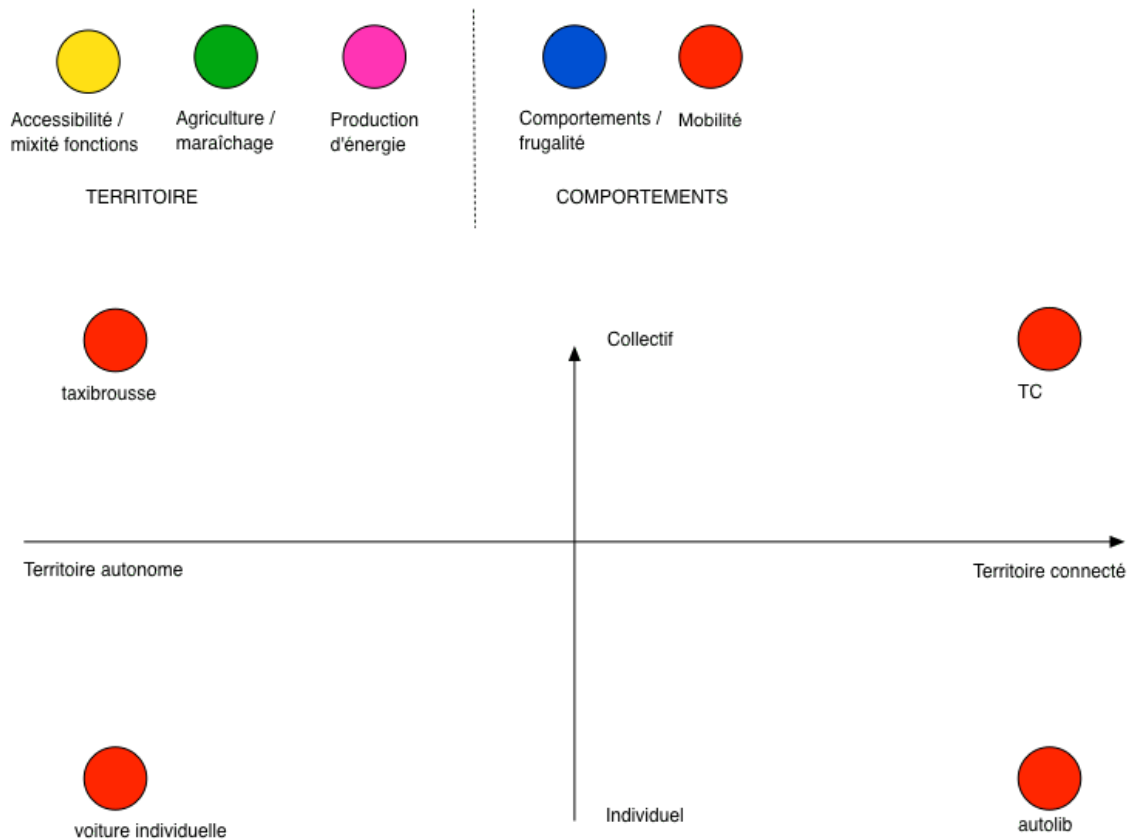


Figure 42 : Grille d'analyse des comportements de mobilité

### 3.2.6. Positionnement d'Est-Ensemble dans la grille d'analyse

Le territoire d'Est-Ensemble (Figure 43) a une grande tradition de maraîchage, avec Montreuil et les murs à pêches, et accueille de nombreux jardins partagés. C'est une caractéristique très favorable du territoire, qu'il convient de renforcer, sans nécessairement faire évoluer sa position dans la grille d'analyse.

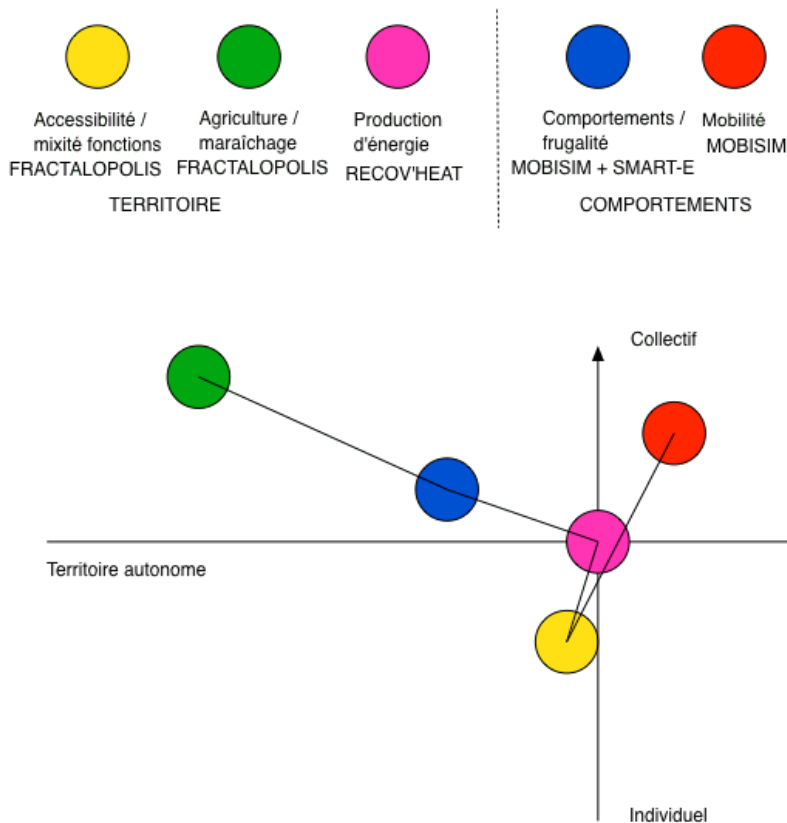


Figure 43 : Positionnement d'Est-Ensemble dans la grille

La mobilité est typique d'un territoire de petite couronne, avec une part modale de la marche et des transports en commun très importante. Le projet de prolongement de la ligne 11 viendra renforcer cette caractéristique, et déplacera le rond bleu vers la droite et le haut.

La production d'énergie utilise différents vecteurs, et semble très équilibrée. Les nombreux espaces verts du territoire, ainsi que les toitures plates d'une partie des immeubles, laissent penser qu'il est possible de développer la production de géothermie de surface et le solaire photovoltaïque, plutôt que de tout miser sur les réseaux de chaleur.

L'accessibilité du territoire est paradoxale : le territoire est très proche de Paris, mais aussi pas si bien connecté qu'il pourrait l'être, et relativement sous doté en commerces et services locaux. Il accueille en revanche de nombreux emplois.

Enfin, les comportements individuels et collectifs, notamment le tissu associatif très riche et très dynamique, laisse penser que des évolutions importantes sont envisageables, ce qui sera examiné en détail, avec notamment la piste du recyclage des excreta, qui combine les deux atouts du territoire : dimension collective forte et tradition de maraîchage.

### 3.3. Macros-scénarios pour Est-Ensemble

Cette partie a pour objet la présentation des trois scénarios pensés pour le territoire. Ces scénarios décrivent des tendances générales et doivent être interprétés comme des boîtes à idées. Ils ont été conçus de sorte à faire apparaître des dynamiques globales et à faire intervenir de façon cohérente la totalité des acteurs. Leur objectif est de considérer des solutions intrinsèques au territoire, en s'appuyant notamment sur ses richesses et potentiels : plusieurs zones d'activité en reconversion, beaucoup d'espaces disponibles (friches industrielles, dalles, etc.), de nombreux projets d'aménagement, un tissu associatif riche (notamment à Montreuil et aux Lilas), ainsi que des identités culturelles et économiques qui lui sont propres. Ils s'articulent donc tous trois autour d'une base commune construite à partir de ces potentiels :

- implication des habitants à différents degrés. Cette implication peut être encouragée par plusieurs mécanismes d'incitation qui varient d'un scénario à l'autre ;



- recherche d'efficacité énergétique et développement des énergies renouvelables sur le territoire ;
- valorisation de l'économie locale et mise en place d'une offre locale d'entreprises capables de mettre en œuvre la transition du territoire : entreprises spécialisées dans les énergies renouvelables, l'écoconstruction, l'écoconception, etc. ;
- libération d'espaces pour la production d'énergie ou de ressources alimentaires.

Les scénarios se distinguent avant tout par l'évolution comportementale qu'ils exigent des habitants d'Est Ensemble. Le premier scénario, intitulé « Transition par l'incitation », considère une responsabilisation relativement importante de la population sous l'effet d'incitations mises en place par les collectivités. Le second, intitulé « Ville connectée », dépend entièrement de l'action des collectivités et ne demande qu'une faible implication de la population. Enfin, le scénario « Village autonome » repose sur une véritable transition comportementale et économique du territoire caractérisée par un investissement conséquent des habitants.

### 3.3.1. Scénario 1 : Transition par l'incitation

Dans ce premier scénario, les collectivités territoriales encouragent et entretiennent un changement de comportement et une responsabilisation de la population à l'aide d'un dispositif d'incitations basé sur la distribution de petites récompenses en monnaie locale (la pêche). Les habitants faisant preuve de sobriété énergétique, mais aussi d'autres comportements écologiques, sont récompensés par de petites sommes en pêches. L'utilisation par le dispositif de cette monnaie déjà relativement bien implantée sur le territoire permet d'en augmenter le volume en circulation et de valoriser les circuits économiques locaux. En parallèle, les collectivités accroissent considérablement leur soutien aux associations citoyennes œuvrant pour la transition énergétique et écologique des communes d'Est Ensemble, et développent de nombreux projets en coopération avec elles. La diversité et la spontanéité de ces associations, l'originalité de leurs approches et la confiance qu'elles inspirent permettent de dynamiser fortement la transition.

#### 3.3.1.1. Dispositif d'incitation : récompense en monnaie locale des actions en faveur la transition

Afin de déclencher un changement des comportements et inciter les habitants à adopter des modes de vie plus responsables et plus économes en énergie, un système d'incitation est mis en place sur les neuf communes d'Est Ensemble. Un certain nombre d'actions sont récompensées par des petits montants en pêches, allant d'une à une dizaine de pêches en fonction de la nature de l'action :

- réduction de la facture énergétique sur l'année,
- rénovation thermique du logement,
- travail effectué dans un chantier participatif pour aider un ménage en situation de précarité énergétique à rénover son logement,
- installation de panneaux solaires,
- contribution financière à une association agissant pour la transition du territoire, etc.

Si l'accent est initialement mis sur les économies d'énergies ou le développement des énergies renouvelables, ce système est progressivement élargi aux éco-gestes en général (Tri des déchets, recyclage d'équipements, etc.) et éventuellement aux actions de solidarité et d'entretien de quartiers (ramassage de déchet, animation d'événements culturels ou sportifs dans les zones d'habitat précaire, etc.) ou encore aux initiatives citoyennes innovantes. Les récompenses sont attribuées à l'aide d'une plateforme en ligne sur laquelle les différents justificatifs comme les factures d'énergie peuvent être téléchargés. Cette plateforme permet également de proposer des actions d'intérêt général et de récompenser ceux qui s'y inscrivent et y participent. Ce système permet ainsi aux citoyens qui disposent du temps suffisant pour s'investir d'augmenter légèrement leur pouvoir d'achat en s'impliquant dans la vie de leur commune ou quartier, tout en développant les réseaux de solidarité.

#### 3.3.1.2. Valorisation de l'économie locale : renforcement du circuit de la monnaie locale

En plus de constituer un moteur de la transition comportementale et d'encourager les habitants à s'investir dans la vie de leur territoire, le système des incitations permet l'augmentation de la quantité de pêches en circulation et une dynamisation

de l'économie locale. En effet, il oriente les consommations des habitants récompensés par ce système vers les commerces locaux qui sont les seuls à accepter les pêches. Ces derniers sont nombreux à rejoindre le réseau de la monnaie locale. En parallèle de ce système, les collectivités instaurent un cadre propice au développement de la pêche en soutenant l'association La Pêche Monnaie Locale dans son développement, mais surtout en s'assurant de la présence d'une boucle économique suffisante pour permettre aux commerçants de réutiliser leurs recettes touchées en pêches.

### 3.3.1.3. Énergie : Valorisation de l'action des associations citoyennes

Le territoire entame une transition énergétique très progressive sous l'impulsion de quelques associations citoyennes qui agissent en partenariat avec les collectivités. Ces dernières soutiennent en effet les associations proposant des solutions aux problématiques énergétiques du territoire (comme l'association Electrons Solaires aux Lilas qui a pour objectif d'installer des panneaux photovoltaïques sur le territoire, ou encore les Compagnons bâtisseurs installés dans le quartier de la Noue et qui aident les habitants à mener leurs travaux de rénovation) et contribuent à développer leur activité pour en faire progressivement des acteurs majeurs de cette transition. Les collectivités encouragent donc fortement leur croissance afin d'en augmenter le nombre et la variété. Ce soutien de la part des collectivités se manifeste de plusieurs façons :

- elles augmentent le soutien financier direct,
- elles récompensent les adhésions et les créations d'associations pour la transition à l'aide du système d'incitation évoqué plus haut ;
- elles récompensent de la même façon les habitants qui soutiennent financièrement ces associations
- elles permettent à ces associations de mettre en ligne de façon contrôlée des actions soumises à récompense sur la plateforme évoquée précédemment lorsqu'elles ont besoin de main d'œuvre pour un chantier participatif ou une installation de panneaux photovoltaïques par exemple ;
- enfin, les collectivités leur donnent plus de poids en ayant directement recours à leurs services et en les mettant directement à contribution sur plusieurs projets.

Ainsi soutenues par les collectivités, ces associations deviennent des acteurs majeurs de la transition et installent des panneaux solaires sur tout le territoire, principalement sur les immeubles résidentiels et les maisons individuelles, ainsi que sur les infrastructures publiques (écoles, mairies, etc.) comme prévoit de le faire Electrons Solaires aujourd'hui. Ces opérations sont financées grâce à de l'épargne citoyenne et à une participation financière des collectivités et de certaines entreprises. L'énergie est d'abord revendue à EDF avec pour objectif de la consommer un jour directement quand la législation et le nombre de panneaux installés seront devenus favorables à la mise en place de l'autoconsommation.

En parallèle de cette transition énergétique, les collectivités maintiennent des objectifs ambitieux concernant la rénovation des logements touchés par la précarité énergétique. Pour commencer, elles œuvrent pour qu'une offre suffisante d'entreprises et d'artisans capables de mener à bien ces travaux de rénovation voie le jour sur le territoire en s'implantant dans les zones en reconversion (abords du canal de l'Ourcq, ZI des Vignes, ZI du Parc, etc.). Ceci permet d'accélérer le rythme des rénovations, de réduire les coûts liés au transport des matériaux et d'établir des relations de confiance entre ces entreprises et les particuliers tout en créant des emplois sur le territoire. Par ailleurs, le nombre et le rôle des conseillers info-énergie sont renforcés pour proposer aux habitants un accompagnement solide sur la durée complète de leurs travaux de rénovation. Pour soutenir les habitants les plus précaires dans leurs opérations de rénovation, notamment ceux exclus du système bancaire, les conseillers travaillent en coopération avec les associations accompagnant les ménages dans des processus d'auto-réhabilitation accompagnée. Ces dernières sont fortement développées et des ateliers de quartiers similaires à celui des Compagnons Bâtisseurs à la Noue sont installés dans les quartiers prioritaires. Dans ces ateliers, les habitants apprennent à réduire leur consommation d'énergie, à réaliser eux-mêmes une partie des travaux, et ils peuvent également bénéficier d'un accompagnement à la réalisation de ces derniers. Enfin, les collectivités entretiennent la dynamique des rénovations en faisant la priorité du dispositif d'incitation. Comme évoqué précédemment, ce dernier permet de récompenser en monnaie locale les habitants qui entreprennent des travaux de rénovation et qui réalisent des économies sur leur facture d'énergie. Enfin, le recrutement d'une main d'œuvre bénévole permettant de mener à bien des chantiers de rénovation participatifs s'effectue également via la plateforme en ligne mise en place dans le cadre de ce dispositif.

#### 3.3.1.4. Mobilité : développement des mobilités douces à l'aide des associations

Afin d'encourager l'usage des mobilités douces, les collectivités s'appuient sur les associations qui prônent leur usage (comme OHCYCLO à Montreuil par exemple) pour sensibiliser les habitants. Ces dernières recyclent des vélos offerts par certains d'entre eux pour permettre aux plus pauvres de les racheter à bas prix voire de les emprunter, mettent en place des ateliers pour apprendre à ceux qui le souhaitent comment réparer un vélo, ou organisent tout simplement des promenades à vélo. Après un certain temps, le dispositif d'incitation se diversifie et récompense également les pratiques de mobilité responsables : abandon de la voiture individuelle, kilomètres parcourus en vélib' ou autolib', don de vélos à une association, etc.

### 3.3.2. Scénario 2 : Ville Connectée

Ce scénario, s'inscrit dans la continuité du projet de territoire actuellement mené par Est Ensemble, et qui cherche à désenclaver le territoire tout en le rendant dynamique et attractif pour les ménages et les entreprises. En tirant parti de ses héritages culturels et économiques, les collectivités en font un territoire fortement connecté à l'agglomération parisienne, mais aussi un véritable pôle d'innovation et d'expérimentation dans les domaines de l'écoconstruction, de l'écoconception et de la production d'énergie en milieu urbain. Pour ce faire, elles misent sur une transition technologique du territoire en mettant en place une production locale conséquente d'énergies renouvelables basée principalement sur l'énergie solaire et la géothermie.

#### 3.3.2.1. Dispositif d'incitation : récompenses en titres de transport et éco-chèques utilisables pour les travaux de rénovation et l'installation de panneaux solaires

Si l'implication des habitants dans ce scénario est moindre, les collectivités les encouragent tout de même à adopter des comportements plus responsables (économies d'énergie, tri des déchets, actions de solidarité, etc.) en récompensant quelques éco-gestes à l'aide d'éco-chèques et de bons d'achats pouvant être utilisés dans des entreprises partenaires ou pour accéder à des infrastructures publiques, ou encore à l'aide de titres de transport. Afin d'entretenir la transition du territoire et encourager les habitants à rénover leur logement ou à adopter une meilleure gestion de l'énergie, ces éco-chèques sont utilisables uniquement pour les travaux d'isolation, l'installation de systèmes de chauffage plus performants, la pose de panneaux solaires en toiture, etc. D'autres récompenses sous la forme de titres de transport ou de réduction sur les abonnements vélib' par exemple permettent d'encourager les habitants à abandonner leur véhicule individuel pour adopter des modes de déplacement moins polluants.

#### 3.3.2.2. Valorisation de l'économie locale : création de pôles d'activité et d'innovation sur le territoire

Conformément au schéma de développement économique, les collectivités travaillent à valoriser et à renforcer les activités économiques qui sont ancrées dans l'histoire des communes d'Est Ensemble (numérique et audiovisuel, métiers d'art et de luxe, santé et biotechnologies, etc.). Elles œuvrent également à créer des pôles d'activité dans les domaines des énergies renouvelables, de l'écoconstruction et de l'écoconception au niveau des différentes ZAC (Plaine et rives de l'Ourcq, Boissière-Acacia, etc.) et ZI à reconverter (ZI des Vignes, ZI du Parc, etc.). A ces pôles s'ajoutent de nombreux espaces dédiés à l'innovation et à la création d'entreprises qui viennent compléter ceux qui existent déjà : pépinières d'entreprises, espaces de coworking, fablabs, etc. La création de ces pôles avec un accent mis sur les activités innovantes permet de façonner l'image et l'attractivité du territoire à l'échelle du Grand Paris. Les approches novatrices proposées par les entreprises de l'énergie et de l'écoconstruction sont directement expérimentées au sein des projets d'éco-quartiers du territoire et des zones résidentielles à rénover. Le territoire devient ainsi à la fois un incubateur et un laboratoire de la transition énergétique et de ce fait un élément indispensable du Grand Paris.

Les collectivités font également le choix de développer l'agriculture urbaine. Pour cela, une partie des espaces verts publics sont cultivés, de nombreux arbres fruitiers sont plantés sur tout le territoire, de nouveaux murs à pêches sont créés et des cultures hydroponiques sont installées sur certains toits. La production se spécialise sur un nombre restreint de produits (la pêche notamment) afin d'acquérir une identité reconnue, et les produits sont revendus aussi bien sur le territoire que dans toute l'agglomération parisienne.

Enfin, les espaces de loisir sont développés en renforçant les infrastructures sportives et en menant à bout les projets de bases de loisir du bassin de Pantin et de la corniche des forts (Figure 44).

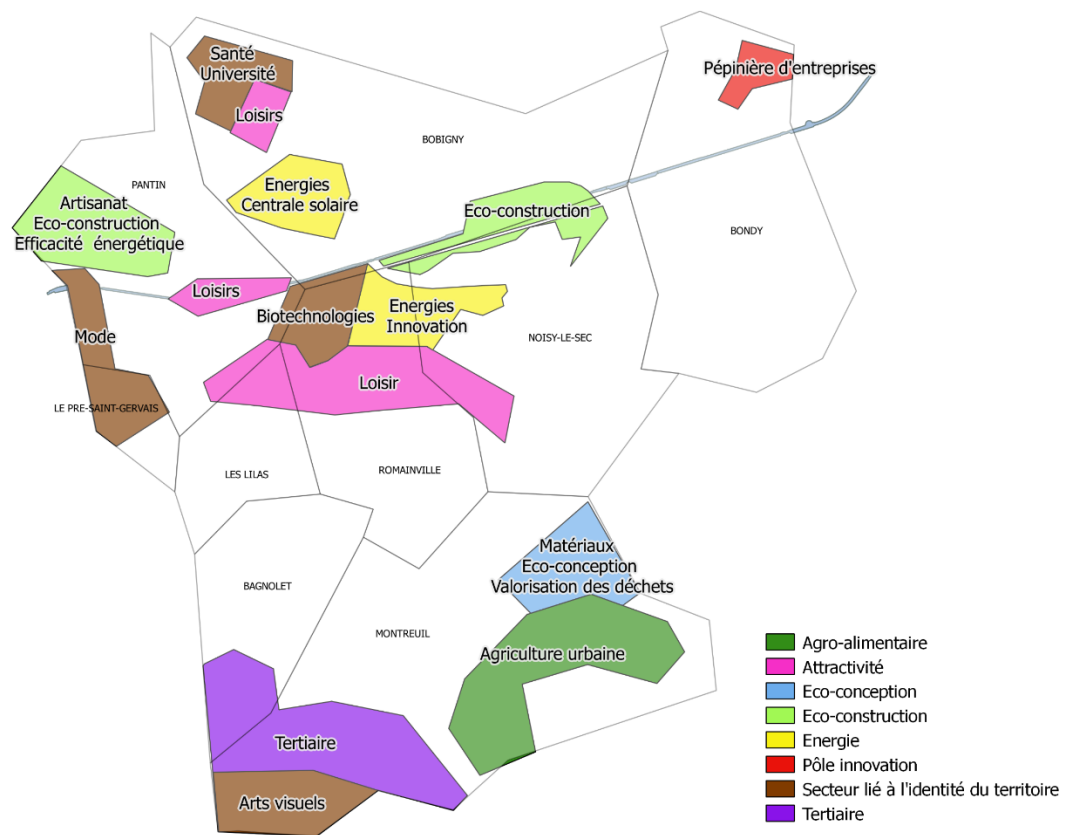


Figure 44 : Un exemple possible d'implantation des différents secteurs d'activité

### 3.3.2.3. Énergie : développement massif de la production d'énergies renouvelables par des entreprises locales

Pour faire face à la hausse des prix de l'énergie, le territoire développe fortement sa production d'énergies renouvelables. Pour alimenter cette dynamique, réduire les coûts, et disposer de solutions aussi bien variées qu'adaptées au territoire, de nombreuses entreprises du secteur énergétique y sont attirées et implantées dans les ZI à reconvertir. Grâce à ces entreprises, de nouvelles gestions de l'énergie sont expérimentées dans les quartiers présentant les meilleurs potentiels : smart grids, autoconsommation, etc.

Par ailleurs, la priorité est donnée à l'installation de centrales solaires sur les espaces non-bâties encore disponibles ainsi qu'au forage et à la construction de réseaux de chaleur géothermiques. Quelques unités de méthanisation y sont également installées. Des aides financières sont mises en place pour inciter les entreprises disposant de hangars ou de bâtiments industriels à y installer des panneaux solaires.

Afin de faire passer à l'échelle supérieure les plans de rénovation des passoires thermiques, les collectivités se tournent vers des démarches de massification et de standardisation type EnergieSprong. Des groupes de logements, immeubles ou quartiers identifiés comme étant les plus touchés par la précarité énergétique sont rénovés simultanément et de façon standardisée de sorte à centraliser les commandes de matériaux et limiter les coûts. La présence de plusieurs entreprises locales capables de mener à bien ces travaux permet leur mise en compétition et l'apparition d'offres plus intéressantes.

#### **3.3.2.4. Mobilité : renforcement de l'offre de transports collectifs lourds pour connecter le territoire à l'agglomération**

Les transports en commun sont développés selon les projets du Grand Paris pour améliorer la connexion du territoire avec le reste de l'agglomération à l'aide de transports collectifs lourds. Afin de développer les mobilités douces, le réseau de piste cyclable est amélioré et l'offre de vélib' renforcée. Enfin, en proposant des titres de transport, des réductions sur les trajets effectués en vélib' ou autolib', ou encore des bons d'achats chez les vendeurs de vélos, le système d'incitation permet d'encourager les habitants à limiter les déplacements polluants.

### **3.3.3. Scénario 3 : Village autonome**

Ce troisième et dernier scénario mise sur une véritable transition comportementale et économique du territoire. Les habitants décident de changer fondamentalement leurs habitudes en adoptant des modes de consommation collectifs, plus sobres et plus respectueux de l'environnement. Les collectivités œuvrent à revaloriser l'économie locale en cherchant à rendre le territoire le plus autonome possible. Le scénario se caractérise donc par un repli vers le local des modes de consommation et de production, aussi bien dans le secteur de l'énergie que dans celui de l'agro-alimentaire. L'échelle du quartier devient l'échelle dominante à laquelle la production et la consommation s'organisent sur un mode participatif et solidaire.

#### **3.3.3.1. Valorisation de l'économie locale : intégration de la pêche dans le fonctionnement des collectivités locales**

Afin de renforcer l'économie locale et la mise en réseau des commerçants et entreprises du territoire, le circuit de monnaie locale se développe considérablement. La plupart des achats s'effectuent désormais en pêches et une majorité de commerçants locaux adhèrent au réseau. Pour ouvrir la voie et garantir à ces commerçants la possibilité d'utiliser à leur tour leurs recettes en pêches, les collectivités intègrent cette monnaie dans leur fonctionnement. Pour cela, la législation sur les monnaies locales est considérablement assouplie et autorise désormais les dépenses publiques, la perception d'une partie des impôts locaux ainsi que le versement d'une petite partie du salaire des fonctionnaires du territoire en monnaie locale. Elles apportent également un soutien financier fort à l'association qui déploie cette monnaie (La Pêche Monnaie Locale) pour lui permettre de fonctionner, de produire de la monnaie et de développer des moyens de paiement dématérialisés.

#### **3.3.3.2. Énergie : production et autoconsommation de l'énergie par quartiers – rénovation participative des logements**

Des associations citoyennes émergent dans les différents quartiers du territoire et installent des panneaux photovoltaïques sur les bâtiments résidentiels grâce à des financements participatifs. Les collectivités se concentrent quant à elles sur la mise en œuvre de projets plus lourds de réseaux de chaleur, de géothermie profonde et d'unités de méthanisation. L'énergie ainsi produite dans chaque quartier y est directement consommée dans des microgrids gérées conjointement par les habitants, les collectivités et les associations en charge de la production énergétique du quartier.

En ce qui concerne la rénovation thermique des bâtiments, elle s'effectue presque exclusivement sous la forme d'auto-réhabilitations à travers de nombreux chantiers participatifs qui s'organisent grâce aux réseaux de solidarité des quartiers. Comme dans le premier scénario, des ateliers de quartiers voient le jour sur tout le territoire : ils permettent de stocker des outils et des matériaux mis en commun par les habitants et des permanences d'associations s'y tiennent régulièrement pour les former ou les accompagner dans leurs travaux. Des animations de quartier sont également mises en place pour éduquer les habitants et leur apprendre les gestes simples permettant de réduire leur consommation quotidienne d'énergie.

#### **3.3.3.3. Dispositif d'incitation : rémunération des habitants participant au bon fonctionnement des quartiers**

Les quartiers généralisent l'approche adoptée dans le cadre de la production d'énergie aux autres secteurs. Ainsi, les espaces verts cultivables sont exploités au maximum afin d'assurer la plus grande production agricole possible. Plusieurs fermes urbaines voient le jour sous la forme de jardins partagés ou de tours maraîchères, dans lesquels les habitants peuvent louer aux communes des parcelles cultivables pour une certaine somme en pêche. Les productions sont directement consommées ou revendues sur des marchés locaux. Par ailleurs, des réseaux participatifs de recyclage et de réhabilitation d'équipements usagés, de vêtements ou de déchets, ainsi que des épiceries solidaires sont créés et gérés par les habitants. L'objectif de ces réseaux solidaires est de réduire au maximum le gaspillage et de redistribuer une partie des objets aux ménages les plus précaires.

Afin de faire fonctionner les différentes installations et chantiers des quartiers, ces derniers se voient allouer un certain budget en pêches par les collectivités. Il permet de rémunérer avec de petites sommes les heures de travail effectuées par les habitants volontaires pour assurer l'entretien et le fonctionnement des installations de production d'énergie, pour cultiver les jardins partagés, recycler des équipements, prêter main forte dans les chantiers participatifs, etc.

#### 3.3.3.4. Mobilité : développement conséquent des modes doux et des lignes de bus locales

Les efforts des collectivités se concentrent sur le développement des modes doux : un réseau de pistes cyclables considérable est mis en place afin de quadriller la totalité du territoire et les centralités des communes ainsi que les grandes rues commerçantes sont pour la plupart piétonnisées. Des péages urbains sont installés aux frontières du territoire pour y limiter l'usage de la voiture individuelle. En parallèle, le réseau local de bus est renforcé pour en faire un mode de déplacement privilégié.

#### 3.3.4. Synthèse sur les scénarios

Bien qu'ils s'inscrivent tous trois dans la même logique de revalorisation de l'économie locale et de transition comportementale, ces trois scénarios se distinguent fortement par la facilité de leur mise en place et par leurs effets sur le territoire. Les changements proposés dans le scénario « Village autonome » sont particulièrement longs à produire puisqu'ils impliquent un changement comportemental profond de la part des habitants qui doivent modifier complètement leurs modes de consommation, ainsi qu'un changement économique tout aussi conséquent. Il produit à terme un territoire autonome, proche de l'autarcie économique et énergétique, dont le fonctionnement dépend fortement de l'implication de ses habitants. Le scénario « Ville connecté » nécessite également une certaine durée liée à l'obtention de financements importants, à l'installation d'infrastructures lourdes (réseaux de chaleurs, transports en communs, etc.) et à la création des pôles d'activités. Il a pour avantage de s'inscrire dans une logique de continuité avec les projets actuellement mis en œuvre par Est-Ensemble, mais nécessite des financements conséquents pour être pleinement réalisé. Il donne naissance à un territoire attractif, fonctionnant de façon durable et en synergie avec le Grand Paris. Le scénario « Transition par l'incitation » est en revanche bien plus rapide à mettre œuvre, et son coût est plus raisonnable. Il permet d'accroître progressivement l'implication des habitants dans la vie de leur territoire et de leur donner un rôle décisif dans la transition énergétique. Il façonne ainsi un territoire dynamique, capable d'évoluer rapidement grâce à la spontanéité et la diversité des solutions proposées par les associations citoyennes. Ce scénario s'apparente donc plus à une solution de court ou de moyen terme qui peut également être pensée comme une étape préalable au scénario « Village autonome » ou encore être articulée de façon complémentaire avec le scénario « Ville Connectée ».

Ces scénarios ont pour objectif de dégager des tendances générales et leur faisabilité dépend fortement du territoire considéré. En effet, s'ils peuvent être appliqués à l'ensemble des communes d'Est-Ensemble, ils peuvent aussi être conçus pour des échelles plus restreintes. Par exemple, le scénario « Village autonome » sera sans doute le plus pertinent dans le cas d'un urbanisme de dalle et/ou d'un quartier enclavé comme celui de la Noue ; le scénario « Ville connectée » s'adaptera facilement à une zone en reconversion comme les abords du canal de l'Ourcq ; le scénario « Transition par l'incitation » étant quant à lui plus souple et probablement plus adapté aux zones mixtes. Il faut donc les considérer comme des boîtes à outils, qui s'utilisent de façon différente en fonction du territoire et de l'échelle considérée, et dont les éléments peuvent être associés de façon complémentaire.

## 4. La sobriété par les comportements : l'impulsion des citoyens et des associations

---

### 4.1. Introduction

L'objet de ce chapitre est de comprendre le sens local de la transition, c'est-à-dire la façon dont les enjeux liés à cette notion s'incarnent sur un territoire au travers des initiatives développées par ses habitants.

La transition est un terme mobilisé aujourd'hui dans le cadre des actions institutionnelles menées pour gérer la crise environnementale. En rupture avec celle de développement durable, critiquée pour sa logique techno-centrée et *top-down* (Laigle<sup>2</sup>), la notion de transition apporte avec elle une dimension sociale et l'idée d'un mouvement vers des pratiques alternatives au mode de vie actuel. Or si l'on sait à peu près à quoi la « transition énergétique » veut apporter une alternative (le consumérisme, la culture du déchet, etc.), les formes que peuvent prendre ces alternatives restent floues et multiples : « bio », « local », « lien social », « 0 déchets », sont autant de tendances qui visent à proposer des alternatives aux pratiques actuelles, qui semblent participer d'une démarche comparable mais dont la cohérence et l'articulation autour d'une vision commune de la société de demain sont loin d'être évidentes. Tout comme l'objectif final, les voies qui y conduisent, c'est-à-dire les modes d'action collective et l'articulation des initiatives citoyennes avec l'action publique, donnent lieu à une grande variété d'interprétation, que reflète la diversité des grilles d'analyses élaborées par les courants de recherche : l'engagement des individus dans un processus de changement peut ainsi être vu comme principalement mu par la figure de l'entrepreneur (Schumpeter<sup>3</sup>), par la rencontre fortuite entre des pratiques informelles de crise et des innovations incrémentales (Geels<sup>4</sup>) ou par une diversité d'acteurs individuels (Shove et Walker<sup>5</sup>). Dans ces approches, le rôle de la puissance publique est toujours une question centrale mais diversement résolue.

La notion de transition ne fournit donc pas encore un cadre conceptuel suffisamment stabilisé et partagé pour que chaque initiative puisse s'y inscrire et définir ainsi ce qu'elle apporte à un ensemble qui la dépasse et qu'elle contribue à constituer sur le long terme. La question du sens que les citoyens donnent à leur démarche et la question des liens, des affiliations sélectives qui se nouent entre leurs initiatives doivent être approfondies car elles sont déterminantes pour comprendre comment les initiatives peuvent perdurer et se ramifier. Pour Laigle, ce qui fait sens pour les individus engagés dans le changement, c'est le désir de se réapproprier leur environnement, de se redonner la maîtrise de leur (mi)lieu de vie.

Dans le prolongement des pistes de réflexion proposées par Laigle, et pour contribuer à l'objectif du projet SOFT d'élaborer des scénarios qui ne soient pas « hors-sol »<sup>6</sup>, ce chapitre propose de porter sur un tissu associatif territorialisé, celui de la commune de Montreuil (93), un regard le moins pré-déterminé et le plus ancré possible. Il s'agit de rentrer dans le foisonnement des initiatives citoyennes en considérant le lien qu'elles entretiennent avec le territoire en tant que milieu de vie, c'est-à-dire d'englober l'ensemble des actions qui visent à redonner de la maîtrise et du sens au lien avec l'environnement, au sens de milieu de vie physique et social. En évitant de s'inscrire dès l'amont dans le prisme conceptuel de la « transition », on aborde ainsi des actions qui ne revendiquent pas forcément l'atteinte d'objectifs (éventuellement chiffrés) définis en réaction à une situation de crise, ou des actions qui n'ont pas vocation à quitter le statut de niche pour se diffuser par référence à un cadre global, mais sont au contraire destinées par leurs porteurs à rester isolées, à distance de l'action publique et sans passage à une économie d'échelle supérieure dans le fonctionnement.

### 4.2. Recensement des initiatives : de la liste à une lecture en termes de cycle inscrit dans le local

Le premier temps de la démarche a consisté à recenser de manière large les initiatives citoyennes montreuilloises. Pour cela, plusieurs sources d'information sont mobilisées :

---

2 Laigle, 2014, Une mise en mouvement de la transition écologique par la société civile ? Approches, enjeux et perspectives. Colloque international "Les chemins politiques de la transition écologique", Oct 2014, Lyon, France.

3 Schumpeter, 1934, *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press.

4 Geels, 2002, "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study", *Research Policy*, 31, pp. 1257-1274

5 Shove & Walker, 2007, "Caution: Transitions Ahead", in *Environment and Planning*, volume 39, pp 763-770.

6 L'objectif du projet SOFT est d'élaborer des scénarios d'amélioration de l'efficacité énergétique de plusieurs territoires franciliens regroupés dans l'établissement public territorial d'Est-Ensemble, dont la commune de Montreuil. Ces scénarios tiennent compte des pratiques et stratégies des habitants comme des édiles.

- des sites internet recensant les initiatives : Cap ou pas cap, Colibris, Agenda 21, Annuaire durable,
- des sites internet locaux : (<http://montreuiltransition.fr/> <https://www.capoupascal.info/>  
<http://www.lecitronevertmontreuil.fr/vie-locale> <https://www.colibris-lemouvement.org/passer-a-laction/agir-quotidien/carte-pres-chez-nous> <http://www.montreuil.fr/environnement/la-lettre-coup-de-pouss/>  
<http://annuaire.durable.com/developpement-durable/montreuil-36447/1>) site de la ville, pages transition

Le recensement des initiatives est disponible sur la page suivante :

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1k2TjH2MEraWTbDBziuTLjTv\\_dx\\_xRaVRzgp461Y89Al/edit#gid=535389043](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1k2TjH2MEraWTbDBziuTLjTv_dx_xRaVRzgp461Y89Al/edit#gid=535389043)

Ce recensement aux nombreuses catégories met en avant le caractère foisonnant des initiatives citoyennes, en termes d'acteurs, de « causes » poursuivies, de projets. Il souligne ainsi la difficulté à délimiter précisément ce que l'on entend par « initiative citoyenne ».

En effet, une pluralité d'acteurs sont à l'origine des initiatives recensées : acteurs publics, économiques et associatifs. Le choix est fait dans un premier temps de conserver cette pluralité en intégrant les initiatives qui ne sont pas strictement citoyennes. Celles qui proviennent d'acteurs économiques ou publics sont incluses si elles ont pour objectif d'encourager ou de relayer l'action citoyenne, ce afin d'avoir une perspective d'ensemble et une idée du poids respectif de chaque catégorie d'acteurs et des interactions possibles entre elles, qui peuvent être du type « instigateur », « facilitateur » ou « passeur » (Laigle). Cette question est au cœur de l'approche prospective qui est la nôtre : quelles préconisations formuler aux collectivités locales ? Dans la suite du travail, on se concentre sur la diversité interne au tissu associatif.

Par exemple, le recensement comprend les actions suivantes :

- les initiatives *Famille à énergie positive, On sème* lancées par la commune,
- l'aménagement des pistes cyclables, qui correspond à la fois à un programme public et à une revendication de l'association VVV,
- des entreprises liées à la conception de bâtiment/qui ont leur siège sur le territoire.

De même, le recensement rend compte de la diversité des « causes » poursuivies par les acteurs : solidarité, culture, écologie, etc. Là aussi, le choix est fait de recenser largement, de manière ouverte, sans prédéterminer ce qui relève ou non de la transition énergétique, mais en prenant cette notion dans un sens large, et en incluant des initiatives qui ne s'en réclament pas de prime abord.

Au-delà de son caractère foisonnant, cette typologie permet d'analyser la manière dont chaque initiative participe de près ou de loin à la transition énergétique en remettant en cause les modes de vie existants et en particulier le consumérisme. De fait, ces initiatives ont pour effet de transformer la figure du consommateur récepteur passif d'une offre de bien ou de service. On peut ainsi définir trois axes d'« alternativité » :

- la production : à travers certaines initiatives comme la culture de potagers, les citoyens remettent en cause le mode de vie consumériste en créant des porosités entre la sphère de la consommation et celle de la production, qui sont aujourd'hui pensés comme les deux bouts d'une chaîne.
- la consommation alternative : certaines initiatives proposent des manières alternatives de consommer (bio, local, équitable...)
- la réutilisation : certaines initiatives proposent de consommer moins, grâce à l'échange, le don, l'achat d'occasion.

Dans une optique prospective, nous proposons de penser ces trois axes à travers la notion d'accessibilité pour dresser une typologie des aménités citées dans les documents de planification (SCOT). Cette notion permet de penser ces initiatives dans leur articulation avec l'action publique et dans la continuité des « aménités » offertes aux habitants et usagers du territoire, qu'elles les complètent, remplacent ou remettent en cause (cf. tableau en 4.6). Par exemple, les potagers urbains remettent en cause les supermarchés, primeurs et marchés en permettant aux citoyens de produire eux-mêmes leurs fruits et légumes sans avoir recours à l'offre existante.

Ces trois axes, s'ils sont pensés de manière cyclique, mettent en lumière la propension du foisonnement d'initiatives à opérer une transition globale, en participant à la récréation (reterritorialisation) de cycles locaux production-consommation dans différents secteurs. Par exemple, le compost produit de manière individuelle, collective ou associative, peut être utilisé dans les potagers et espaces verts montreuillois.

Cette territorialisation des cycles production-consommation-réutilisation dessine l'existence d'un écosystème local. La matérialité de cet écosystème peut s'appréhender par la densité des initiatives mais aussi par la densité des collaborations, matérialisant un système de liens. Dans la suite du travail, nous étudierons ces deux aspects de l'écosystème sur le terrain montreuillois (le maillage spatial des initiatives, ici réduites aux initiatives ayant pris une forme associative afin de limiter l'ampleur du matériau, et le réseau des liens qu'elles entretiennent), avec comme toile de fond la question de la répliquabilité de cet écosystème territorialisé. C'est par une démarche de comparaison entre les écosystèmes associatifs de Romainville et des Lilas que des éléments de réponse à cette question seront collectés.



### 4.3. Montreuil est-elle à part ? Comparer les tissus associatifs

Romainville et Les Lilas sont deux communes dont la situation au sein de la métropole est comparable à celle de Montreuil, mais qui présentent des caractéristiques de peuplement (Romainville) et d'urbanisation (Les Lilas) différentes.

L'enjeu de la comparaison est de cerner d'éventuelles variations de l'écosystème associatif en fonction des territoires : couverture associative moins dense, associations de vocation moins orientée vers la modification de la relation au milieu de vie, entretenant des liens moins étroits avec le territoire municipal et entre elles, etc. Sur cette base, une réflexion pourra être engagée sur l'éventuelle existence de **facteurs territoriaux particulièrement favorables à l'émergence d'initiatives citoyennes en lien avec la transition** et la modification du rapport au milieu de vie. Cette réflexion peut être décomposée en plusieurs questions, qui seront pour la plupart approfondies au travers de l'analyse de discours des entretiens semi-directifs :

- Quels liens entre les caractéristiques d'un tissu associatif et celles de la population/du territoire ?
- Quels liens entre la densité du tissu associatif et celle des services et commerces traditionnels ?
- Quelle place le référentiel des associations fait-il au territoire (lien essentiel ou contingent ?) et à son accessibilité/autonomie ?
- L'échelle municipale est-elle pertinente pour appréhender ce lien ?
- Le rapport à la puissance publique locale est-il un facteur explicatif ?

Pour effectuer la comparaison, le recensement et la localisation de l'ensemble des associations présentes sur chacune des trois communes a été effectué. L'implantation territoriale des associations a été caractérisée en observant :

- leur nombre et les secteurs d'activité concernés,
- leur répartition dans l'espace (effets « trous » / effets cluster), ces informations étant recoupées avec la cartographie du MOS.

- Les Lilas

La ville des Lilas possède des spécificités dont il faut tenir compte dans l'étude de son tissu associatif. Le territoire communal est peu étendu, avec 1.26 kilomètres carrés. Cette première caractéristique conditionne la taille des équipements publics destinés à la vie associative. La commune possède une bibliothèque relativement petite (André Malraux), une piscine (R-Mulinghausen), et quelques complexes sportifs. Malgré quelques disparités sociales que l'on peut considérer comme assez directement corrélées avec la proximité avec Paris et la station de métro Mairie des Lilas, l'échelle de la commune et l'absence de fractures urbaines au sein du territoire municipal offrent un relativement bon accès aux équipements à l'ensemble de ses habitants. Elles permettent également une bonne visibilité des actions associatives, majoritairement culturelles, mises en avant par la ville.



Figure 45 : Carte des Lilas et de ses associations

On observe sur la carte de la ville (Figure 45) que le centre-ville est très nettement marqué par une densité associative remarquable. Compte tenu des commentaires faits plus haut, on peut dire de la commune des Lilas qu'elle constitue un territoire privilégié en termes d'offre associative, notamment culturelle.

La mise en parallèle avec le mode d'occupation des sols (Figure 46) permet de faire quelques commentaires supplémentaires. Les deux trous constatés au sein du tissu associatif se trouvent expliqués par :

- La présence au nord de la commune du Fort de Romainville qui constitue, avec le collège Marie Curie, une emprise de 8 hectares. Le fort est ceint à l'est d'un ensemble de tours dépassant la frontière la ville et constituant les quartiers de l'espoir et Gagarine.
- La présence au sud-est d'un équipement de parking « NOMAD » (environ 2 hectares).

Dans les faits, l'existence de ces deux vides ne constitue pas une faiblesse d'importance pour la commune, étant donné sa superficie et l'accessibilité de son centre. On peut considérer en revanche que les habitants des communes avoisinantes de Bagnolet et de Romainville y trouvent des obstacles dans le cas où ceux-ci chercheraient à profiter de l'attractivité supposée des Lilas (station de métro, services, associations).



Figure 46 : Carte des associations et MOS aux Lilas

Enfin il apparaît clair que la densité du tissu associatif n'est pas l'unique spécificité des Lilas. En effet, la commune dispose également d'une densité d'initiatives en lien avec la transition assez importante, peut-être due à la relative richesse de ses habitants. Ces initiatives sont semble-t-il liées les unes aux autres par un réseau de bénévoles qui appartiennent à plusieurs d'entre elles<sup>7</sup> et constitué lors de pique-niques associatifs organisés volontairement par ces bénévoles. La taille de la commune et un effet « vie de village » rendent possible la constitution d'un tel noyau d'initiatives. Ce noyau peut être vu comme un « cluster », mais il s'agira d'en regarder plus en détails les caractéristiques. Pour prendre un exemple concret, on sait qu'environ 1% des Lilasiens sont abonnés à l'AMAP « La courgette solidaire ». D'après les dires de ses bénévoles<sup>8</sup>, ces 200 personnes environ sont des gens plutôt aisés. L'enjeu est d'abord de savoir dans quelle mesure cela correspond à la réalité, puis de savoir si l'initiative de distribution alternative peut atteindre d'autres habitants des mêmes classes et de classes différentes, moyennant peut-être l'évolution du réseau en place. La même question se posera pour les initiatives de production. L'objectif est de mesurer un éventuel potentiel de nouvelles pratiques latentes sur la commune.

- Romainville

Romainville est une ville bien plus hétérogène que Les Lilas qui s'étend sur 3,5 kilomètres carrés. La commune ne dispose pas, à l'inverse des deux autres, du métro<sup>9</sup>, et son organisation spatiale est caractéristique, son fonctionnement est par endroits monofonctionnel. Ainsi la partie la plus septentrionale de la commune, constituée par le quartier Bas Pays, regroupe quasi exclusivement des activités, qui s'étendent même au-delà de la limite communale. La zone est également marquée par la présence du canal de l'Ourcq, de la route nationale N3 et d'une importante emprise ferroviaire. C'est ici que se trouve le

7 La courgette solidaire (AMAP), Electrons solaires, le Potager Liberté, le Potager des Lilas.

8 Entretien du 20 juin 2019 avec une bénévole (l'association n'a pas de salariés), local de l'AMAP, aux Lilas.

9 Une desserte par la ligne 11 du métro est prévue à l'horizon 2013 au niveau de la place Carnot, au centre de la commune et en limite de la commune de Noisy-le-Sec.

siège d'Est-Ensemble. On peut y noter toutefois la domiciliation de quelques associations dans sa partie sud-est, plus résidentielle (voir figure 47).

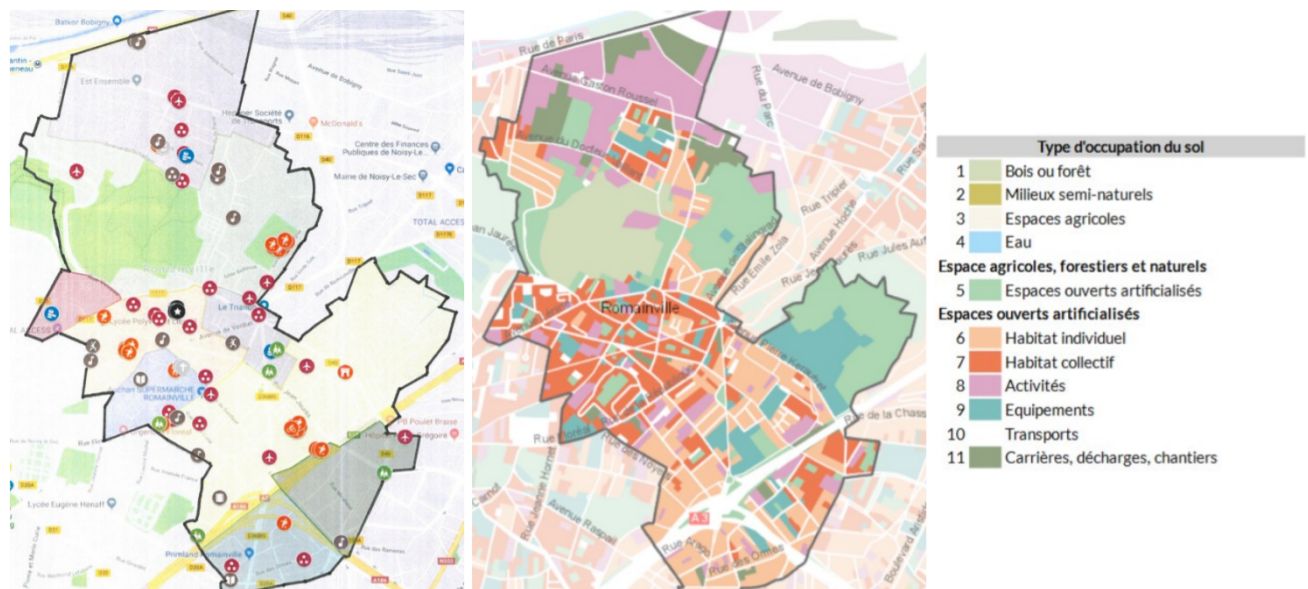


Figure 47 : Carte des associations de Romainville et de son mode d'occupation des sols

Il est également intéressant d'observer des découpages nets dans la ville entre fonctions et quartiers. Ce quartier nord est comme séparé du reste de la ville par un ensemble de surfaces sans habitat : parc de Romainville à l'ouest (environ 10 hectares), bois sanctuarisé (environ 20 hectares) et cimetière (2.7 hectares) au centre, parc et stade municipal Stalingrad à l'est (environ 13.5 hectares). Ces terrains, les activités, ainsi que le fort de Noisy présent à l'est de la commune sur environ 26 hectares et demi expliquent la faible densité de population de la commune et pour partie sa faible densité associative, même si celle-ci reste particulièrement basse une fois rapportée à la population, comparativement à Montreuil et Les Lilas (cf. Tableau 4).

Un autre élément constitutif de la ville est la présence au sud d'un nœud autoroutier entre les autoroutes A3 et A186 séparant les deux quartiers du sud de la ville de son centre. Au nord de celui-ci, le mode d'habitat dominant est le pavillonnaire peu dense apparemment peu propice au développement d'un réseau d'initiatives de transition. Il faudra analyser plus finement la structure de la population y résidant pour mieux comprendre le potentiel dont dispose le territoire. On peut noter au sein de ce quartier l'implantation d'une AMAP, Les Paniers Engagés. Par la suite, une mise en miroir avec le développement de l'AMAP des Lilas pourra être effectuée.

Le centre-ville concentre la majeure partie des aménités ainsi que la majeure partie des logements. Nous ignorons à ce stade si un habitant du sud pavillonnaire de la ville aurait tendance à vivre en relation avec ce centre ou avec des communes avoisinantes, mais il est probable que certaines frontières de Romainville soient très poreuses à des flux quotidiens. Et l'on sait qu'il est fréquent pour les installations sportives d'être mutualisées entre différentes communes. Il faudra donc dans la suite de l'étude s'attacher à considérer des potentialités pour l'instant invisibles mais dont on peut déjà pressentir l'existence. Comme exemples d'un mode de fonctionnement de la ville intercommunale, on peut considérer plusieurs cas remarquables sur la commune de Romainville (Figure 48). Le quartier Gagarine est équidistant des centres de Romainville et des Lilas (environ 900 mètres), ce qui le situe à la fois en périphérie de deux villes, mais également dans une situation où des initiatives portées indifféremment par l'une de ces villes pourraient l'atteindre. De même, le nord de Romainville est très proche de la station de métro de la ligne 5 Bobigny – Pantin – Raymond Queneau qui permettrait le développement de potentiels partagés avec la commune de Pantin.

Du sud au nord, Romainville est comme un empilement de cinq strates urbaines : deux strates pavillonnaires de part et d'autre de l'A3, un centre-ville, des parcs puis un quartier d'activités.

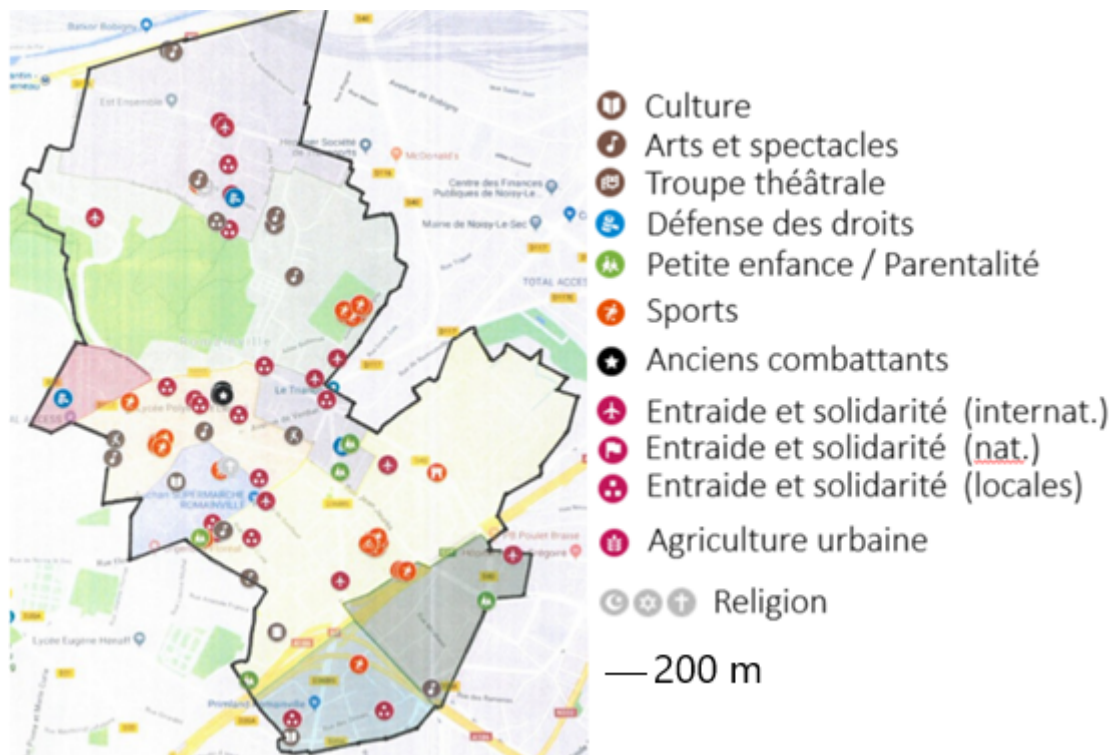


Figure 48 : Carte du tissu associatif romainvillois

Les associations d'entraide et de solidarité se trouvent donc situées entre la route départementale D117, l'avenue de Verdun et la rue de la République, axes majeurs du centre-ville. On observe une bonne répartition des associations sportives, qui constituent le type d'association le plus représenté à Romainville, autour de trois lieux majeurs entourant le centre-ville. Comme aux Lilas, la ville dispose d'une médiathèque au centre du quartier Cachin (en bleu sur la figure 48). L'organisation du tissu a donc des points communs avec les Lilas, bien que l'échelle diffère et que le sport prédomine ici sur la culture. La structure de la population étant socialement différente, il faudra envisager toute action menée de manière adaptée, et en prenant en compte que l'effet « vie de village » est nécessairement circonscrit aux strates géographiques centrales.

- Montreuil

La première spécificité de la ville de Montreuil est sa superficie, qui lui confère une variété de paysages et de formes urbaines au sein de ses quartiers. La population montreuilloise est également diversifiée :

	2016	%
<b>Ensemble</b>	<b>86 453</b>	<b>100,0</b>
Agriculteurs exploitants	3	0,0
Artisans, commerçants, chefs d'entreprise	2 683	3,1
Cadres et professions intellectuelles supérieures	14 628	16,9
Professions intermédiaires	14 528	16,8
Employés	15 509	17,9
Ouvriers	9 328	10,8
Retraités	14 023	16,2
Autres personnes sans activité professionnelle	15 750	18,2

Tableau 4 : Population montreuilloise de plus de 15 ans selon leur catégorie socioprofessionnelle - Sources : Insee, RP2016, exploitations complémentaires, géographie au 01/01/2019

Comme l'indique le tableau 4, les catégories de population sont représentées sur la commune d'une façon relativement équilibrée (à comparer avec Romainville et Les Lilas pour valider l'idée d'équilibre). Montreuil constitue également un

important bassin d'emploi au sein d'Est-Ensemble avec un taux de concentration d'emplois de 112.9, bien supérieur à ceux de Romainville et des Lilas<sup>10</sup>, et un important secteur tertiaire autour du centre-ville. La connaissance des flux d'actifs entrants et sortants permettra de savoir si ce taux d'emploi bénéficie aux résidents, permettant la constitution d'un bassin de vie cohérent, ou s'il est surtout à l'origine de chassés-croisés particulièrement importants, cette donnée impactant le lien au territoire des populations actives et donc les conditions d'émergence des initiatives citoyennes.

En périphérie du territoire communal, trois ZUS matérialisent la présence dans la ville de classes populaires. A cette présence correspond une partie du tissu associatif avec son engagement : initiatives sociales, d'insertion ou de réinsertion, aux couleurs politiques parfois plus radicales ou marquées. Ces classes populaires sont composites en termes d'origines, avec une forte proportion de populations issues de l'immigration, ce qui se traduit par une importante proportion d'associations d'entraide internationale, et de réseaux d'entraide locale peut-être invisibilisés<sup>11</sup>. Il peut exister également une variabilité dans les rapports des quartiers avec la puissance publique. L'accompagnement des initiatives de transition devra être adapté en conséquence.

Montreuil possède également sur son terrain les murs à pêches, espace hautement symbolique, et leur trentaine d'hectares de terrain vert derniers témoins d'une histoire horticole et agricole propre à l'ancien village de Montreuil. Ces murs à pêches sont aujourd'hui le bastion d'un engagement associatif<sup>12</sup> très spécifique : ils constituent un lieu de vie sans équivalent au sein d'Est-Ensemble et dont le caractère unique est défendu par les associations qui y sont basées, mais aussi par une partie de la population montreuilloise<sup>13</sup>. Le tissu local est également marqué politiquement, par une forme d'écologie radicale notamment.

Les terrains sont pour une grande partie en friche, faute de ressources pour exploiter son potentiel, mais certaines parcelles sont utilisées par les associations pour diverses destinations : agriculture et horticulture voulues écologiques<sup>14</sup>, spectacles, festival des murs à pêches, activités destinées aux scolaires...

Outre sa superficie remarquable, Montreuil se caractérise par la concentration des emplois, la diversité de sa population et de ses quartiers, ainsi que par une histoire municipale liée à l'agriculture.

D'une brève comparaison en miroir des tissus associatifs et des territoires (cf. tableau 5), il ressort qu'on peut d'ores et déjà caractériser ainsi les trois études de cas :

- La commune des Lilas se démarque par sa forte densité de population et des revenus élevés. Son tissu associatif est également très dense, avec une dominante culturelle, et un noyau d'initiatives en lien avec la transition.
- Romainville associe de vastes coupures morphologiques et une population moins favorisée à une offre associative beaucoup moins dense, axée sur l'offre sportive.
- Montreuil se situe en position intermédiaire avec une densité de population relativement forte, des catégories de revenus moins homogènes (à vérifier) et une offre associative importante, marquée par l'histoire agricole de la commune et un fort engagement militant.

	Nombre d'habitants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité (hab.km <sup>2</sup> )	Nombre d'associations	Pour 1000 habitants	Par km <sup>2</sup>
ROMAINVILLE	26 510	3,44	7 706	93	3.51	27
LES LILAS	22 993	1,26	18 248	136	5.91	108
MONTREUIL	108 402	8,92	12 153	588	5.42	65.9

Tableau 5 : l'offre associative rapportée à la population et au territoire

10 Source INSEE 2016. Romainville et Les Lilas possèdent des taux de concentration respectivement de 64.6 et 52.8.

11 On pourra chercher par la suite si ces réseaux d'entraide peuvent constituer un levier conséquent dans le management de la décision. Pour l'heure, nous savons qu'ils constituent une source importante de lien social.

12 Les associations présentes aux murs à pêches sont regroupées au sein de la Fédération des Murs à Pêches qui comporte 13 associations membres et 14 partenaires.

13 <https://federationsmursapeches.jimdo.com/p%C3%A9tition/>

14 On prendra soin dans les scénarios d'écartier la possibilité de cultiver les parcelles pour la consommation sans étude préalable car les sols sont a priori trop pollués. Il serait possible en revanche d'y implanter des cultures hors-sols. Les jardins actuellement cultivés actuellement le sont dans un but pédagogique et de lien social.

Ce panorama sera ensuite à mettre en relation avec le contexte territorial et politique. Le contexte territorial sera appréhendé au travers d'indicateurs tels que les caractéristiques de la population, la densité, le prix du foncier, le % de propriétaires (dont on sait qu'il a une influence sur l'investissement dans la vie locale), etc. Le contexte politique sera appréhendé essentiellement à travers les entretiens qualitatifs et une brève recherche documentaire destinée à compléter la reconstitution de monographies municipales simplifiées.

L'historique du développement associatif (phases de déploiement mais aussi investissement différencié des différentes zones du territoire municipal dans le temps) est une dimension particulièrement intéressante qu'il n'a cependant pas été possible d'explorer en exhaustif. La conduite d'entretiens qualitatifs avec des personnes « ressource » (ayant une expérience du territoire sur le long terme) permettra de rassembler des éléments de connaissance sur ce point, en renonçant à visualiser de façon complète et rigoureuse la dynamique temporelle et spatiale des créations/disparitions d'associations.

D'autres approfondissements nécessitent de passer de l'échelle du territoire à celle de quelques structures associatives sélectionnées.

#### **4.4. Construction des liens et des territoires de l'action : la cartographie des partenariats**

Pour analyser les périmètres d'action des structures associatives, nous procédons par sélection de quelques associations emblématiques de Montreuil et opérant dans des secteurs variés.

La collecte d'informations sur le déploiement dans le temps et dans l'espace des actions et des partenariats a pour objectif de qualifier la « trajectoire » de l'association et son inscription dans des cycles d'innovation et des processus de diffusion/répliquabilité à l'intérieur d'un même territoire. Le développement des liens et des territoires d'action obéit-il à des logiques de proximité ou de mise en réseau de territoires plus lointains ou au moins non limitrophes ?

A ce stade, les partenariats et les liens territoriaux de quatre associations ont été cartographiés sur la base du matériau recueilli *via* des ressources internet (au premier rang desquelles, le site de l'association mais aussi des articles de journaux) et des entretiens semi-directifs<sup>15</sup>.

Les cartes sont disponibles via ce lien.

- Le Sens de l'Humus : ancrage historique et territorial, diversification des actions

Le Sens de l'humus est une association dont le nom est revenu régulièrement lors des recherches destinées au recensement des initiatives. Sur le site de l'association, une page retrace l'historique des actions menées. On en retient plusieurs choses :

- La volonté de s'inscrire dans l'histoire locale et de la prolonger : le jardin Pouplier est créé sur un terrain appartenant à Geneviève Pouplier, dernière hortultrice montreuilloise.
- Une diversification des actions. Partie de la création d'un potager expérimental et d'un désir d'apprentissage des méthodes d'agriculture biologique, l'association déploie un éventail d'actions :
  - jardins partagés et solidaires
  - aide au lancement de composts
  - éducation à l'environnement et éducation populaire
  - formations et ateliers (permaculture, potager naturel, compostage, métier de jardinier)
  - accompagnement de jardins écologiques en pied d'immeuble.

Cette diversification d'actions traduit le passage **d'un rôle d'initiateur à un rôle d'accompagnateur d'initiatives**.

- Des mécanismes de répliation/multiplication d'expérimentations localisées doublés de processus d'institutionnalisation :
  - d'un à trois jardins,
  - d'un projet pilote de compostage au lancement d'une douzaine de sites de composts de quartier et d'une cinquantaine en pied d'immeuble en partenariat avec EE.
  - L'association participe au concours budget participatif 2018 de la ville de Montreuil, son projet d'aménagement de serre et d'espaces abrités pour les événements festifs est retenu.
- Des partenariats multiples : des relations de voisinage d'une part (sur le territoire des Murs à pêches, et à l'échelle de Montreuil), et une mission de conseil, de formation, et d'instigateur de nouvelles initiatives d'autre part. A travers cette action de conseil, l'association rayonne au-delà du territoire de Montreuil, et même au-delà du territoire Est Ensemble (formation à Malakoff).

---

15 Les entretiens ont été conduits auprès des associations Oh'Cyclo et Salut les Co'Pains par Charline Barthélémy, Nolwenn Delattre, Eva Guyot, Bilal Haroun et Yann Martin, étudiants de la 3ème année de Licence géographie & aménagement - études urbaines, Cf. *Changement des pratiques vers la sobriété énergétique*, dossier réalisé dans le cadre de l'ANR VITE pour Caroline Gallez et Frédéric de Coninck sous la direction de Emre Korsu et Sandrine Wenglenski, 2017, 217 pages.

- La Collecterie

La Collecterie est une association récente (2016) mais qui occupe une place très importante dans le paysage montreuillois, et s'inscrit dans un réseau relationnel local et extralocal très développé. Sur la page des partenaires du site internet, un grand nombre (65) de partenariats sont mentionnés. Leur classement en différentes thématiques<sup>16</sup> montre le rattachement conceptuel à la transition en tant que processus écologique et solidaire se réclamant du modèle de l'ESS. En revanche, il ne permet pas de tracer une frontière nette entre ce qui relève de relations de bon voisinage (références mutuels) et ce qui relève de relations de projet manifestées dans des réalisations concrètes. On sait cependant par le biais des entretiens que ces relations sont actives sur le territoire local, avec une mise en circulation des publics et/ou des objets entre des associations de vocation différente que sont Oh'Cyclo et Salut les Co'Pains. Communauté de sens : apprentissage, réutilisation, développement de l'autonomie de publics parfois fragiles par rapport à l'économie traditionnelle et ses produits de consommation.

- Oh'Cyclo

Créée en 2012, cette association de recyclage et réparation de vélos bénéficie d'une assise locale particulièrement solide : d'une part, ses adhérents se comptent par centaines (900 environ) ; d'autre part, elle présente un ancrage institutionnel fort, avec le développement de partenariats hors sphère associative (puissance publique mais aussi syndicats de copropriété, casses ou fourrières). Cet ancrage est spatialement délimité par la nature de l'activité : en effet, la réparation de vélos est une activité répandue qui nécessite une forme de partage territorial afin de désamorcer les concurrences, règle comportementale informelle qui structure les pratiques de l'association depuis sa création<sup>17</sup>. L'existence de structures semblables ne cantonne pas seulement l'activité à un périmètre local : elle participe aussi d'une mise en réseau à l'échelle nationale ou internationale qui est créatrice de ressources, pour les démarches administratives (Réseau de l'Heureux Cyclage) ou pour une action de lobbying (réseaux d'usagers de la bicyclette). Mais ces mises en réseau semblent très secondaires [préciser] : l'association a quitté l'Heureux Cyclage, et les discours activistes en faveur du vélo ne sont pas partagés par tous les membres de l'association, certains étant plus concernés par la dimension « lien social » de l'activité de réparation. A confronter à d'autres associations sur d'autres communes.

- Salut les Co'Pains

Le collectif est né d'une dynamique très localisée autour de la maison de quartier et de quelques habitants, avant d'être « repris » en 2012 par des membres désireux d'en faire une structure plus active proposant des formations et des animations. La volonté d'expansion est toujours présente mais clairement limitée par la capacité de l'équipement (four et maison de quartier à partager avec d'autres associations). Les projets de développement se tournent alors vers des activités hors les murs, en associant d'autres collectifs dont l'activité, quoique différente, permet de construire une pédagogie cohérente autour de l'alimentation et de la production agricole<sup>18</sup> ou en testant un four à pain mobile pour aller chercher des publics isolés ou lointains (mention est faite de l'échelle départementale). L'idée reste sur la table de « retravailler l'objet associatif qui est assez orienté vers le quartier pour l'instant, l'ouvrir plus sur la ville, voire au-delà » (entretiens étudiants L3). L'élargissement passe pour le moment par des liens institutionnels (écoles notamment) qui sortent du périmètre montreuillois, mais la mutualisation des ressources entre plusieurs associations opérant sur l'Île-de-France est aussi envisagée comme tremplin pour changer l'échelle des projets.

#### **4.5. Conclusion : modèle transférable ou totalement ancré ?**

Les initiatives citoyennes qui se déploient sur la commune de Montreuil et leur intégration dans une démarche de « management de la transition » pilotée par la puissance publique locale vont dans le sens d'une transition énergétique et

---

16 Alternatives Citoyennes et Développement Durable / Économie Circulaire, Sociale et Solidaire / Insertion, Formation et Solidarité / Lieux de Culture, Artistes et Artisans / Partenaires Récup' & Éco-Organismes / Associations Récup' / Partenaires Réseaux.

17 L'entretien conduit avec Oh'Cyclo par les étudiants de L3 (cf. note précédente) montre que l'association est née de la fusion de deux projets très semblables portés par des personnes différentes, et dans le but de fournir au territoire un service qui lui fait défaut sans pour autant proposer des activités redondantes. Par ailleurs, les partenariats établis avec des structures susceptibles de fournir des vélos à réparer tiennent compte d'une sorte de géopolitique liée aux besoins d'associations « sœurs » exerçant sur des territoires proches.

18 En revanche, le cycle « production de blé dans les jardins du Sens de l'Humus-blé moulu sur Montreuil lors d'une manifestation annuelle-puis cuisiné dans le four à pain » a perduré quelques années avant de disparaître (cf. entretien étudiants de L3). L'approvisionnement en semences libres de droit se fait depuis un paysan du Lot-et-Garonne, mais le circuit est jugé coûteux et insuffisamment court.

écologique amorcée par des changements de comportement. De manière à les intégrer dans des modèles de simulation visant à évaluer leur impact potentiel sur le territoire sur le moyen terme, ces initiatives citoyennes doivent être étudiées finement et catégorisées.

Il s'agit de réunir et traiter des informations à la fois quantitatives et qualitatives sur ces phénomènes, mais aussi sur les phénomènes comparables présents sur deux communes proches pour une analyse en miroir, afin de les évaluer et renseigner dans les scénarios : leurs spécificités et ce qu'ils doivent à l'ancrage dans un contexte territorial, leurs modalités de diffusion et d'institutionnalisation, leur potentiel de répliquabilité. L'écosystème de Montreuil favorise-t-il l'émergence d'associations ayant un lien avec la transition et la modification du rapport au milieu de vie ?

A ce stade du travail, il apparaît que l'écosystème associatif et citoyen de Montreuil présente bien des caractéristiques propres, mais que la commune n'est peut-être pas pour autant l'unique incarnation d'un modèle d'engagement dans la transition. La commune des Lilas manifeste ainsi un panel d'initiatives citoyennes dont les caractéristiques, les liens établis, le positionnement vis-à-vis des enjeux de la transition et de la puissance publique dessinent un modèle un peu différent. Si Montreuil n'est pas l'unique "bastion de la transition", l'engagement local s'y manifeste avec des spécificités militantes affirmées, s'exprimant notamment dans la demande d'un changement systémique global incluant la gouvernance et la territorialisation des cycles de production-consommation-recyclage. Cette coloration des modèles locaux sera développée grâce aux apports des entretiens qualitatifs.

#### 4.6. Tableau des correspondances entre offre classique et offre alternative

Les blancs correspondent aux aménités pour lesquelles peu d'alternatives sont recensées à Montreuil (inexistantes ou pas référencées dans les sources d'information mobilisées), parmi lesquelles : santé, beauté, viande...

<b>SANTE</b>	
Établissement hospitalier généraliste	
Établissement hospitalier spécialiste	
Médecins généralistes	
Médecins spécialistes	
Centres de santé	
Pharmacie	
Laboratoires d'analyses médicales	
Centres d'imagerie médicale	
Services d'ambulance	
Infirmiers à domicile	
CCAS	
Centres de prévention et de soins	
<b>COMMERCES</b>	
Grands magasins	Échanges, dons
Magasins populaires	Échanges, dons
Supermarché	Jardin potager, AMAP, bio, production locale, achats groupés, achat coopératif
Hypermarché	Jardin potager, AMAP, bio, production locale, achats groupés, achat coopératif
Équipement de la maison (jardinerie et bricolage)	
Équipement de la personne >300m <sup>2</sup>	Échanges, dons
Hygiène-santé-beauté > 300m <sup>2</sup>	
Culture-sport-loisirs > 300m <sup>2</sup>	Échanges, dons (bouq'lib...)



Cycles autos > 300 m <sup>2</sup>	Aide à la mobilité
Épicerie, alimentation générale, supérette de 120 à 300m <sup>2</sup>	Jardin potager, AMAP, bio, production locale, achats groupés, achat coopératif
Boulangeries	Bio + four à pain mutualisé
Boucheries, charcuteries, confiseries, poissonneries, caves, surgelés	
Pharmacie, tabac, presse	
Hygiène-santé, beauté	
Équipement, maison, cycles autos	Échanges, dons
Garages, stations-services	Aide à la mobilité
<b>SERVICES</b>	
Laveries	
Cordonneries, retoucheries	
Salons de coiffure, salons de beauté	
Location vidéo, agence de voyage, photographes	
Photocopies, écoles de conduite, services funéraires, toilettage animaux	
Banques, postes et télécommunications	
Assurances, agences immobilières	
Cafés	
Restaurants, restauration rapide, brasserie, cybercafés	
Marché alimentaire	Jardin potager, AMAP, bio, production locale, achats groupés, achat coopératif
Marché non alimentaire	Échanges, dons
Marché aux puces	Échanges, dons
Recyclage et récup	
Équipement mutualisé	
Aide à la mobilité	
Espaces et bâtiments publics écologiques	
<b>CULTURE</b>	
Cinéma	
Théâtre	
Bibliothèque	
Dispositifs de mobilisation	

## 5. Agriculture urbaine et énergie : recyclage des excréta et forme urbaine

---

Excréments humains, agriculture de proximité et forme urbaine : un trio au potentiel de sobriété (pas que) énergétique insoupçonné.

### 5.1. Introduction

La thématique de la sobriété énergétique des villes est souvent associée (surtout) aux questions d'isolation thermique des bâtiments et de mobilité quotidienne des citoyens. Sans remettre en cause l'importance de ces postes de consommation énergétique et des économies que des changements radicaux dans ces domaines permettraient de réaliser, l'objet de cette contribution est d'explorer le potentiel, en termes de sobriété (pas uniquement) énergétique, d'une gestion locale des excréments humains corrélativement au développement d'une agriculture vivrière, sans nécessité de faire appel à de coûteuses infrastructures de traitement centralisé.

Notre propos est structuré en trois sections.

Nous commencerons par rappeler quelques enjeux (notamment) énergétiques de l'agriculture et du traitement des excréments, en soulevant la question du caractère complémentaire de ces deux activités, dont l'association à l'échelle locale, particulièrement en milieu urbain, pourrait devenir, moyennant un arsenal de techniques variées et éprouvées, une alternative énergétiquement sobre au modèle du « tout-à-l'égout » dominant dans les sociétés occidentales depuis un siècle et demi.

Dans une deuxième section, la faisabilité d'un tel changement de paradigme du traitement des excréments par l'agriculture urbaine sera questionnée au travers des résultats d'une enquête réalisée sur le territoire de la communauté d'agglomération d'Est-Ensemble, complétés par un aperçu de quelques expériences françaises et étrangères témoignant d'un intérêt croissant pour les questions de recyclage des déchets organiques humains, parallèlement (parfois conjointement) à un véritable engouement pour la « permaculture ».

Enfin, nous proposerons une réflexion sur le rôle que peut jouer la forme urbaine pour faciliter l'association entre agriculture et gestion des excréments.

### 5.2. Les excréta humains comme ressource potentielle pour l'agriculture de proximité

#### 5.2.1. Des opportunités inexploitées face à des enjeux vitaux : une situation paradoxale

Depuis des années, les médias se font l'écho d'une situation de plus en plus préoccupante à laquelle nos sociétés doivent et devront faire face : dérèglement climatique, crise énergétique, effondrement de la biodiversité, pénuries dans nombre de domaines (combustibles fossiles<sup>19</sup>, matériaux de construction<sup>20</sup>, eau potable,...).

Parmi ces pénuries à venir, il en est pourtant une qui reste largement méconnue du public, alors même qu'elle touche directement à notre survie pure et simple : celles de l'azote et du phosphore. Composants essentiels du métabolisme humain, l'un et l'autre sont à la fois vitaux pour l'agriculture et dépendants de ressources fossiles importées.

La production des aliments recourt en effet aux engrais azotés produits à partir d'ammoniac — dont la synthèse requiert des hydrocarbures — selon un procédé **coûteux en énergie** (car nécessitant des températures et des pressions élevées, de l'ordre de 180°C et de 150 bar, respectivement) et fortement émetteur de gaz à effet de serre. Or, pour prendre l'exemple de la région Île-de-France (où se situe le terrain d'étude du projet SOFT), plus de la moitié des apports azotés nécessaires à la production de la nourriture des Franciliens provient d'engrais de synthèse (Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020). Le phosphore est

---

19 Selon le document intitulé *L'Union européenne risque de subir des contraintes fortes sur les approvisionnements pétroliers d'ici à 2030 - analyse prospective prudentielle*, publié le 6 juin 2020 par le « think tank » *The Shift project* et reposant sur des données exclusives, la plupart des sources actuelles d'approvisionnement en pétrole de l'Union Européenne menacent de décliner fortement au cours de la prochaine décennie. ([https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/06/%C3%89tude\\_D%C3%A9clin-de-lapprovisionnement-de-lUE-en-p%C3%A9trole-dici-2030\\_TSP.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/06/%C3%89tude_D%C3%A9clin-de-lapprovisionnement-de-lUE-en-p%C3%A9trole-dici-2030_TSP.pdf)).

20 en particulier le sable (l'un des composants du béton), dont le prélèvement massif menace nombre de sites côtiers.

quant à lui extrait de mines fossiles, principalement en Chine (aujourd'hui premier producteur) et au Maroc (détenteur des trois-quarts des ressources mondiales connues). Outre **l'énergie nécessaire à son transport**, l'approvisionnement soulève de manière prégnante le même problème — et amène le même diagnostic — que toute ressource non renouvelable : pic de production mondiale (vraisemblablement dans un avenir proche) suivi de l'épuisement.

Or si, d'un côté, l'approvisionnement dans la durée en azote et en phosphore est un enjeu vital pour produire les aliments que nous consommons, de l'autre, ces deux composés sont présents dans nos excréta<sup>21</sup>. La solution du recyclage apparaît, dès lors, comme une évidence. Mais face à cette évidence, force est de constater que « *le système alimentation-excrétion actuel est linéaire, gaspilleur et polluant* »<sup>22</sup>. Cette « linéarité » — à l'opposé de la « circularité »<sup>23</sup> — est due à l'important développement de l'urbanisation tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, s'accompagnant de la généralisation d'un système d'assainissement reposant sur le triptyque « toilettes à chasse d'eau – tout-à-l'égout – station d'épuration » qui, par jour et par habitant, produit 150 litres d'eaux usées domestiques composées d'urines et de matières fécales diluées dans environ 30 litres de chasses d'eau et mélangées aux eaux usées ménagères. Il s'ensuit un rejet d'importantes quantités de phosphore et d'azote qui apporte une contribution significative à l'eutrophisation des milieux aquatiques, mais également à la pollution de l'eau (qui devient impropre à de nombreux usages, dont sa consommation) et de l'atmosphère (protoxyde d'azote, azote ammoniacal,...). Certes, la construction de stations d'épuration permet, en partie, de résoudre ces problèmes par extraction ou destruction de certains composants des eaux usées (germes, bactéries, phosphore et azote,...) avant leur retour au milieu naturel ; mais il s'agit de solutions très énergivores, coûteuses (réactifs chimiques, équipements,...) et polluantes (rejet de protoxyde d'azote, qui est un gaz à effet de serre), sans compter que leur efficacité à protéger les milieux aquatiques n'est que partielle : « *En Île-de-France, malgré les traitements et le classement, depuis 2005, de toute la région en zone sensible à l'eutrophisation [...] pour exiger des performances d'abattement de l'azote et du phosphore en stations d'épuration, un tiers de l'azote est encore rejeté dans la Seine, soit l'équivalent des rejets de quatre millions d'habitants [...]. Les seuils de qualité de l'eau dans le secteur aval de Paris sont d'ailleurs dépassés. Le changement climatique et la baisse consécutive du débit de la Seine, combinés aux projections d'augmentation de la population, provoquent un effet ciseau : davantage d'effluents à traiter et moins d'eau pour les diluer. La dégradation de l'état écologique de la Seine sera alors inévitable à moyen terme, sauf à amplifier les traitements dont les coûts seraient disproportionnés et avec des effets secondaires environnementaux.* »<sup>24</sup>

De plus, ce système d'assainissement à la fois coûteux et moyennement efficace ne facilite guère le recyclage de l'eau, des matières organiques et des nutriments : « *Aujourd'hui, en Île-de-France, seulement 4 % de l'azote et 41 % du phosphore des excréta humains font l'objet d'une valorisation agricole, à travers les boues d'épuration épandues ou compostées, avec des réticences en hausse. Ce taux est nul pour les villes qui incinèrent leurs boues.* »<sup>25</sup>

Cette situation qui ressemble à de l'indifférence vis-à-vis de ressources — par ailleurs en voie de raréfaction et/ou de plus en plus coûteuses à produire — directement transformables en nourriture *via* l'agriculture est d'autant plus paradoxal que la ville, immense gisement potentiel de ces ressources, devient de plus en plus le lieu de pratiques « agricoles », avec une « AU » (pour reprendre l'acronyme en vogue de agriculture urbaine) qui est en train de conquérir nombre de métropoles occidentales. Cependant, il faut bien reconnaître qu'à l'heure actuelle, les activités de ce type sont davantage considérées pour leurs vertus en termes de « climatisation » (atténuation des îlots de chaleur), d'amélioration de la qualité de l'air (filtrage de microparticules, absorption de dioxyde de carbone) ou d'embellissement (design urbain) qu'en tant que pourvoyeuses potentielles de nourriture, avec une production qualifiée souvent d'anecdotique, aussi bien du point de vue de la quantité susceptible d'être produite<sup>26</sup> que de celui de la nature de la production, faisant parfois adopter un ton ironique face à ces pratiques (« *on ne nourrira pas le monde avec des tomates et des légumes ou pour être un peu plus provocateur, avec des plantes aromatiques* »<sup>27</sup>), mêmes chez les auteurs qui, par ailleurs, promeuvent l'AU pour d'autres raisons.

---

21 De manière large, le terme **excreta** désigne toutes les substances rejetées hors de l'organisme, qui résultent principalement de la nutrition et du métabolisme : fèces, urines, matière sébacée, gaz carbonique, etc. Dans le cadre de cette étude, seules les deux premières (fèces et urines) sont concernées.

22 Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020, p. 2

23 Dans sa thèse intitulée *Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques*, Fabien Esculier définit la circularité comme le taux de retour de l'azote des excréta sur des sols agricoles (Esculier, 2018).

24 Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020, p. 2

25 *Ibid.*

26 « *Une étude récente estime [...] à 1% la contribution actuelle de l'agriculture urbaine à la totalité de la nourriture produite dans le monde, et prévoit qu'il sera possible d'atteindre un seuil de 5% maximum [...]* » (Declève *et alii*, p. 112)

27 *ibid.*

En fait, cette double absence — absence de recyclage sur place des excréta et absence de pratique d'une très conséquente agriculture vivrière de proximité — correspond aux deux faces d'une même médaille : à défaut d'une importante ressource locale d'engrais, l'agriculture urbaine, pour être productive, devrait massivement importer ces derniers, aggravant ainsi les désordres liés à leur extraction, leur traitement, leur transport (sur des milliers de kilomètres pour le phosphore) et leur synthèse (très gourmande en énergie pour l'azote). Pourtant, cette « importante ressource locale d'engrais » existe, a toujours existé et, mis à part la période récente (le dernier siècle), a toujours été exploitée.

Comment expliquer cette « exception du dernier siècle », parenthèse historique que nous vivons encore ?

### 5.2.2. Le poids de l'histoire et de la culture

Pour reprendre les termes de Fabien Esculier, le paradoxe pointé au paragraphe précédent est « *le fruit d'un long processus historique de dévalorisation de nos déjections et d'un découplage des villes et campagnes au détriment de la circularité. Ce ne fut pas toujours le cas : au début du XX<sup>e</sup> siècle, les taux de recyclage agricole de l'azote et du phosphore des excréta humains de l'agglomération parisienne étaient respectivement de 50 % et 70 %. Néanmoins, le mélange des excréta humains aux autres eaux usées, domestiques, pluviales et industrielles, avait fini par entraîner une contamination chimique persistante (industries) et temporairement biologique (fèces) des champs d'épandage.* » (Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020)

Commençons par replacer ce constat dans un contexte temporel et culturel plus vaste.

L'histoire des déjections et de la manière dont l'être humain les appréhende et les traite depuis les origines à nos jours fait l'objet de nombreux écrits, aussi bien savants que de vulgarisation. Dans le cadre de ce travail, il ne semble néanmoins guère utile d'en faire une synthèse détaillée. Nous proposons donc, en guise de rapide historique, de reprendre quelques éléments de certains de ces ouvrages<sup>28</sup> en les organisant selon le découpage temporel proposé par Emmanuel Adler dans le cadre de sa thèse<sup>29</sup> à l'occasion d'un passage sur l'évolution du concept d'assainissement à travers les siècles. Dans cette réflexion, E. Adler identifie **six niveaux de gestion des déjections** dont chacun caractérise une période historique, la délimitation de ces six périodes — aux durées très variables — étant d'ailleurs imprécise<sup>30</sup>, surtout pour les plus anciennes d'entre elles.

— Le **niveau 0** d'assainissement correspond à l'absence de tout traitement. Il renvoie à une époque très lointaine dont l'auteur rend compte avec humour en se référant au récit biblique d'Adam et Eve (« nous sommes au Paradis, nous n'avons pas encore mangé la pomme, donc pas de déjections à gérer »).

— Le **niveau 1** peut se résumer par l'éloignement : c'est le fameux « hors du camp » de certains peuples nomades. L'auteur se réfère à nouveau à l'Ancien testament en citant le Deutéronome, où Moïse invite les siens à enfouir les matières au moment même de leur excréation (« tu iras hors du camp avec ton bâton et tu feras un trou »). Il convient cependant de noter que l'enfouissement remonte à une époque bien antérieure, puisque les fossiles nous apprennent que l'homme préhistorique enterre parfois ses excréments.

— Le mot d'ordre du **niveau 2** est l'interdiction de souiller dans la cité. C'est la période où l'homme se sédentarise et commence à développer les villes. Des densités plus fortes requièrent plus de vigilance, ce dont témoignent les toilettes du palais crétois de Cnossos ou les latrines privées et publiques de la Rome antique (par ailleurs dotée d'égouts). Si la fin de l'Empire romain se caractérise par un relâchement des pratiques sanitaires, Clovis recommande tout de même de « ne pas se laisser aller dans la rue » et de ne pas y déposer d'immondices. Mais le « tout à la rue » restera néanmoins la pratique quotidienne durant des siècles : en dépit des protestations (notamment à partir de la Renaissance) de quelques uns « *contre la liberté qui règne dans l'expression des besoins naturels* »<sup>31</sup>, les choses évoluent peu jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle. La fameuse

---

28 notamment (mais pas exclusivement) *Un petit coin pour soulager la planète* de Christophe Elain et l'article « Digestions fertiles - Le retour au sol des excréments humains » (à paraître dans la *Revue d'Anthropologie des Connaissances*) de Marine Legrand.

29 Adler, E. (2020). *Gérer les déjections humaines, un défi urbain le cas de la ville de Lyon, fin XVIIIe – début XXe s.* Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée.

30 Ce qui n'est guère surprenant : outre la difficulté à dater précisément des événements intervenus ou des comportements relatifs à des époques anciennes (et de surcroît variables selon les régions du monde), toute tentative de découpage de type « avant/après » d'une évolution forcément continue est toujours un exercice artificiel.

31 Elain, 2007, p. 18

« interdiction de souiller dans la cité » se réduit donc souvent à des recommandations peu respectées dans les faits, en particulier durant les derniers siècles de cette période de plusieurs millénaires.

Il n'en reste pas moins que, depuis la plus haute antiquité jusqu'au Siècle des lumières, les déjections des villes sont considérées comme une richesse : parfois comme une richesse tout court (il y a mille an, en Syrie, « *un système de déshydratation d'urine et de matières fécales est mis en place et on procède à la vente de celles-ci, le cours de la monnaie étant même basé sur la valeur marchande des excréments* »<sup>32</sup>), très souvent comme une richesse pour l'agriculture, avec toutefois des différences notables selon l'époque et selon l'endroit. Ainsi, depuis plusieurs millénaires, « *les Chinois fertilisent les champs avec leurs matières fécales, lesquelles sont extrêmement nobles à leurs yeux. A cet égard, des voyageurs sillonnant ce pays n'ont pas manqué de signaler la présence de toilettes installées en bord de route, invitant le passant à y déposer son offrande* »<sup>33</sup> ; dans le même ordre d'idée, le code de politesse du Japon médiéval veut qu'avant de prendre congé, l'invité fasse un détour par les toilettes dans le jardin de son hôte en guise de remerciement pour le repas. En Europe, le succès des déjections humaines en tant que fertilisant connaît des hauts et des bas<sup>34</sup> : s'il est vrai qu'« *au temps des empereurs romains, l'excrément humain est considéré comme le nec plus ultra en matière d'engrais* »<sup>35</sup>, son utilisation sur les terres agricoles décline (tout au moins en France) durant le Moyen Age, pour reprendre au XVI<sup>e</sup> siècle, où l'épandage sur les terres redevient une pratique courante, notamment autour des grandes villes.

— Le **niveau 3** de l'assainissement, correspondant à une *obligation de moyens*, est caractéristique de la période de l'essor de l'industrie (XVIII<sup>e</sup> - XIX<sup>e</sup> siècle) durant laquelle on assiste à une industrialisation des métiers : les cabinets de toilette apparaissent, le nombre de fosses d'aisance augmente, et leur vidange est confiée à des entrepreneurs, spécialement dédiés à cette activité là. « *Le vidangeur — qui a désormais un statut — se charge de leur contenu qu'il transporte à la voirie [...]. De ce lieu de stockage repart, après un temps de repos, une matière qui s'en va enrichir les terres agricoles.* »<sup>36</sup> Au cours de cette période, la tendance à la hausse (observée en France durant les deux derniers siècles de la période du « niveau 2 ») de l'usage des excréments humains dans l'agriculture s'accroît de manière très significative, pour culminer à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

— Le **niveau 4** de l'assainissement est caractérisé par l'*obligation de résultats* ; il correspond à la période débutant à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, qui voit la victoire du tout-à-l'égout, avec la canalisation des déjections et « l'oubli de ce sujet là » : la mise au point par Thomas Crapper, en Angleterre, d'un système avec réservoir et chasse d'eau performant, l'apparition du siphon qui règle le problème des odeurs, le développement fulgurant des réseaux d'égouts et de canalisations amenant l'eau directement dans les immeubles, le souvenir des épidémies de choléra durant le XIX<sup>e</sup> siècle, les découvertes de Pasteur,... tout cela, et d'autres facteurs encore, contribue à forger un nouvel idéal — celui de pouvoir « *faire ses besoins en privé et dans l'eau [...] signe majeur de confort et de statut social* »<sup>37</sup> conjointement à celui du « zéro microbe » cher aux hygiénistes. L'excrément devient « effluent », le déchet privé devient un problème public ; « *l'infrastructure entretient activement la disparition matérielle et symbolique des déchets corporels, empêche par là même de faire le lien entre l'acte de tirer la chasse d'eau et les pollutions qui adviennent en bout de tuyau, et occulte également entièrement le potentiel fertilisant des matières concernées.* »<sup>38</sup> Parallèlement, en matière de valorisation de ces dernières, force est de constater qu'après l'engouement pour leur utilisation dans l'agriculture au cours de la période précédente (cf. niveau 3) — tout particulièrement entre le moment où le système industriel prend son essor et celui où se généralise l'usage des ressources fossiles — ces pratiques s'effondrent littéralement : « *l'émergence des engrais de synthèse, contemporaine d'une accélération de l'urbanisation, signe au début du XX<sup>e</sup> siècle l'échec technique et économique des tentatives de valorisation à grande échelle.* »<sup>39</sup>

— Le **niveau 5**, celui de l'*autonomisation*, n'est que prospectif (à l'heure actuelle, nous vivons encore pleinement le niveau 4) : dans un monde où l'on parle de plus en plus de transition énergétique, on pourrait également aborder la *révolution métabolique*, avec des systèmes où les déjections seraient recyclées sur place ; mais c'est un monde qui est encore utopique (ou « paradisiaque » au sens du « niveau 0 ») puisque les questions sanitaires font qu'il y a un antagonisme important à recycler ces matières.

---

32 Elain, 2007, p. 41

33 *Ibid.*

34 Legrand, à paraître

35 Elain, 2007, p. 41

36 Elain, 2007, p. 19

37 Legrand, à paraître

38 *Ibid.*

39 *Ibid.*

Il est très important de noter que ce rapide historique n'aspire pas à l'universalité : selon les cultures, la question du statut et de la gestion des excréta est très variable. Cela est vrai tout particulièrement pour la période récente (niveau 4) : par exemple, alors que dans les pays européens, le modèle alimentation-excrétion linéaire reste dominant, plus de 320 millions de tonnes d'excréments humains sont utilisées chaque année dans les champs chinois (Elain, 2007, p. 41), soit l'équivalent de 0,7 kg par jour et par habitant.

Pour le sujet qui nous occupe, l'idée à retenir est que de tout temps, le problème de la gestion des excréments vient des densités de populations (villes) et que les solutions retenues varient au cours des siècles et selon les régions. Certaines civilisations (Etrusques, Romains,...) adoptent très tôt une gestion assez proche de celle que nous connaissons (eau courante, égouts sous les rues), mais cela ne fait que déplacer le problème hors de la ville, notamment dans les rivières. Il est vrai que dans l'Antiquité, où les villes étaient des « points » disséminés dans un écosystème encore à peu près intact, le pouvoir de recyclage de la planète pouvait faire face. De plus, le rapport ville-campagne repose, depuis les origines jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, sur des liens de réciprocité : la ville engrais, la campagne nourricière.

Cette complémentarité historique est cependant mise à mal par une série d'événements survenus durant les cent cinquante dernières années, consacrant le modèle d'assainissement de « niveau 4 » d'Emmanuel Adler — incarnation du « *rêve d'une société qui traite ses déchets sur le mode du déni* » (Legrand, à paraître).

Au cours des dernières décennies commence néanmoins à pointer un faisceau d'indices témoignant d'un regain d'intérêt pour une conception réinscrivant l'existence humaine dans les boucles métaboliques du monde vivant. Timide dans un premier temps, il ne cesse de monter en puissance.<sup>40</sup> Signe annonciateur de l'avènement du « niveau 5 » ?

*« Bien des facteurs influencent les attitudes et les comportements, et il est difficile de distinguer l'importance de chacun d'eux. Cependant, même si nous ne pouvons saisir toute cette complexité, il nous apparaît que l'histoire ne fait que se répéter. Elle indique, par exemple, que notre conduite et nos sentiments relèvent d'un apprentissage lié le plus souvent à un environnement culturel. [...]. La chasse d'eau était certainement une réponse possible pour les 150 dernières années. Elle a bien rempli le rôle qui lui était attribué : évacuer au loin les excréments et nettoyer la cuvette. Avec ou sans elle, il nous appartient maintenant d'écrire le chapitre suivant. »* (Elain, 2007, p. 27)

### 5.2.3. De quoi parle-t-on, au juste ?

Dans les paragraphes précédents, il était question d'excreta, d'excréments, de déjections,... autant de termes génériques désignant les matières rejetées hors de l'organisme, notamment sous forme solide ou liquide. Mais le recours à de telles expressions donne à croire qu'elles renvoient à une matière homogène dont le traitement requiert des approches et techniques qui le sont également. Pourtant, par leur composition, les excréments solides (matières fécales ou fèces) sont à tel point différents des excréments liquides (urines) qu'il convient de préciser ces différences, fondamentales pour le choix de techniques appropriées.

— Les **matières fécales** contiennent entre 65 et 80% d'eau, des éléments minéraux et des matières organiques. Sans entrer dans le détail, ces dernières sont composées notamment de résidus alimentaires non absorbés par l'organisme, de milliards de micro-organismes — bactéries, virus,... — et de quelques autres éléments ou substances diverses. La quantité excrétée varie selon le régime alimentaire (elle est plus importante chez le consommateur de légumes et de céréales, aliments riches en fibres, que chez le « carnivore »), l'âge, d'éventuels troubles physiques ou psychologiques ; elle est généralement comprise entre 100 et 300 grammes par jour (en France, la valeur quotidienne **moyenne** est d'environ **150 grammes**).

Les micro-organismes que contiennent les fèces jouent, pour la grande majorité d'entre eux, un rôle important et contribuent à nous maintenir en bonne santé. Cependant, il arrive que certains de ces micro-organismes prolifèrent de façon inhabituelle ou que s'introduisent parmi eux des indésirables qui perturbent le fonctionnement normal du corps. De tels perturbateurs sont qualifiés d'« organismes pathogènes » car ils sont susceptibles de provoquer ou de transmettre une maladie. Mais tout est affaire de dosage : chaque pathogène est caractérisé par une « dose infectante » (d'ailleurs variable d'une personne à

---

40 A titre d'illustration — certes anecdotique —, il n'est qu'à citer le succès du fameux *Comment chier dans les bois* de Kathleen Meyer, paru aux Etats Unis en 1989, traduit en français douze ans plus tard et devenu progressivement un best seller international avec plus d'un million d'exemplaires vendus à ce jour. L'accroissement rapide des ventes de « guides du jardin bio » divers et variés, ou encore l'augmentation du nombre de diverses manifestations d'une prise de conscience collective de la nécessité d'une transition, en sont d'autres témoignages.

une autre) au delà de laquelle l'infection se déclare. En outre, un organisme « bénéfique » peut, dans certaines conditions, devenir pathogène.

Pathogènes ou pas, tous ces organismes ne sont adaptés qu'à un seul contexte, celui de l'intestin humain à 37°C. Pour la plupart d'entre eux, ils s'avèrent être très vulnérables à des conditions différentes et disparaissent en général assez rapidement, à un rythme dépendant de différents facteurs tels que la température, l'humidité, le taux d'acidité, le rayonnement solaire, la présence d'autres organismes, etc. En faisant varier un ou plusieurs de ces facteurs, il est donc possible d'accélérer leur élimination : chaleur, déshydratation, modification du pH, ultraviolets, compétition,... autant de procédés, parmi d'autres, pouvant être mis en œuvre, les plus simples étant souvent les plus efficaces. Par exemple, le milieu sec des toilettes à déshydratation offre un environnement bien plus défavorable aux pathogènes que le milieu humide — à certains égards assez proche de celui de l'intestin — des eaux usées d'un système à chasse d'eau. Ou encore, la multitude d'organismes spécifiquement adaptés aux toilettes à compost ne tardent pas à prendre le dessus sur des pathogènes très peu compétitifs dans cet environnement particulier.

Si les matières fécales ne peuvent être utilisées telles quelles en agriculture et doivent faire l'objet d'un traitement destiné, entre autres, à les débarrasser d'éventuels agents pathogènes, la recherche du « zéro microbe » est non seulement inutile, mais préjudiciable. Car « *vouloir à tout prix se débarrasser du moindre microbe, c'est empêcher un bon fonctionnement des mécanismes défensifs du corps et nous rendre plus vulnérables en cas d'attaque sérieuse.* » (Elain, 2007, p. 38)

— Produite par les reins, l'**urine**, résultat de la filtration du sang, est composée à 95% d'eau. Elle contient, notamment, des résidus issus du métabolisme (parmi lesquels l'urobiline — produit final de la dégradation et du renouvellement des globules rouges — qui donne sa couleur à l'urine), des éléments minéraux (dont le fameux phosphore), des matières organiques (dont des matières azotées, en grande quantité), ainsi que plusieurs autres éléments (hormones, enzymes). La quantité évacuée quotidiennement est de **1,5 litre** en moyenne, mais elle varie notablement avec l'âge, la quantité de liquide ingérée, le froid, la maladie, le régime alimentaire,...

Généralement stérile et dépourvue de germes pathogènes, l'urine connaît de tout temps et partout dans le monde de nombreux usages, notamment dans les médecines traditionnelles, aussi bien en interne (urinothérapie) qu'en externe (massages, traitement de piqûres d'insectes, lavage de cheveux, soins dermatologiques, et même bains oculaires, l'urine étant reconnue pour posséder un fort pouvoir bactéricide). Sa valeur fertilisante pour l'agriculture est incontestable, bien que les avis divergent sur la manière de l'utiliser ; la dilution dans l'eau (en quantité variable et pas forcément consensuelle) est de plus en plus préconisée afin de ne pas apporter aux plantes un soluté trop concentré.

De ce qui précède, nous pouvons retenir :

- qu'alors que l'urine est un engrais naturel pur — une nourriture *directement et immédiatement assimilable* par les végétaux —, les fèces sont une matière première pouvant contenir des pathogènes et devant donc faire l'objet d'une transformation nécessitant de l'énergie, l'ajout d'autres matières, du temps, du savoir-faire... (ou tout cela à la fois), selon le mode de valorisation choisi ;
- que mélanger les matières fécales et l'urine revient à contaminer potentiellement cette dernière (qui, sinon, aurait pu être utilisée quasiment telle quelle, simplement diluée dans l'eau) ;
- que mélanger les matières fécales et l'eau revient à créer artificiellement un milieu humide propice au développement de pathogènes, à polluer une eau qui pourrait être utilisée pour d'autres usages, et donc à générer inutilement un problème — celui de l'épuration en aval, d'ailleurs fréquemment aggravé par un mélange avec d'autres effluents (par exemple industriels, pollués en éléments chimiques) qui complexifient encore davantage la tâche des stations d'épuration et, souvent, interdisent l'utilisation des boues dans l'agriculture.

De prime abord, « éviter de tout mélanger » semble donc être à la fois une manière d'anticiper la pénurie annoncée de l'eau et une manière de rendre plus efficaces les pratiques du recyclage des déjections humaines par l'agriculture.

Mais, confrontée aux très diverses contraintes, exigences et spécificités « du terrain », cette si vertueuse « séparation à la source » est-elle toujours faisable ? Ou même, dans certains cas, souhaitable ? Par exemple, si la priorité est de ne pas gaspiller l'eau, et dans la mesure où l'urine doit être diluée avant utilisation, le choix retenu peut consister à ne pas la séparer des matières fécales afin de recycler, en même temps et après traitement, l'ensemble des minéraux contenus dans les excréments liquides et solides.

Cet exemple suggère qu'il n'y a pas une seule « bonne » manière de faire. L'objet du paragraphe suivant est de donner un aperçu des diverses options pour exploiter le filon des excréta humains à des fins agricoles.

## 5.2.4. Un foisonnement d'approches et de techniques

Après avoir explicité « ce que l'on traite », il s'agit de se poser la question « comment on traite », l'expression « traiter » étant ici employée au sens large du terme, englobant la **collecte**, la **transformation** et la **valorisation**.

Précisons d'emblée que dans le cadre de ce travail, nous focalisons sur les traitements dont la finalité est l'utilisation des excréta dans l'agriculture nourricière, en passant (quasiment) sous silence d'autres formes de recyclages, telles la méthanisation ou combustion des fèces séchées<sup>41</sup>.

Cela étant posé, le recyclage des excréments humains en aliments est une question récurrente et sujette à débats. En particulier, au fil des siècles et jusqu'à nos jours, « *on retrouve les deux mêmes positions à l'égard de cette question. La position de ceux qui considèrent avant tout la « fertilité » et la position de ceux qui estiment « qu'il vaut mieux considérer la salubrité que la fécondité des terres ». Mais n'y aurait-il pas moyen de concilier ces divergences ? Ah, s'il existait une technique simple, qui ne demande qu'un peu de temps et quelques rapides aménagements, une technique qui permette l'utilisation agricole des excréments, nous débarrasse des organismes pathogènes et qui, pendant que nous y sommes, change également l'aspect et l'odeur de ces étrons... Eh bien, justement, du rêve à la réalité il n'y a que quelques mois de différences, le temps qu'il faut pour que le compostage réalise ce petit miracle. Enfin, miracle aux yeux des seuls humains car, inlassablement et depuis des milliers d'années, la nature répète à son rythme ce processus qui n'est autre que le cycle de la vie.* »<sup>42</sup>

Au final, **le compostage vise donc à reproduire un phénomène naturel mais de manière contrôlée et accélérée** (pour plus de détails sur le compostage, cf. l'**annexe 1**), et le principal débouché des matières fécales est, précisément, la production du *compost* qui sert à amender<sup>43</sup> les sols de culture, c'est-à-dire « l'assiette » destinée à recevoir la nourriture des plantes.<sup>44</sup>

Mais si l'objectif à atteindre est clair, les manières d'atteindre cet objectif sont diverses. Très diverses, même, comme en témoignent les ouvrages et articles consultés, qui font état d'une infinie variété d'approches, de techniques et d'équipements, variété dont la présentation exhaustive déborderait largement des limites qu'impose le cadre de ce travail. Afin de rendre compte au moins de manière schématique de cette richesse et afin d'essayer de donner au moins un aperçu qui soit à la fois synoptique et synthétique d'une réalité foisonnante, nous proposons une ébauche de typologie reposant sur trois dimensions : la *séparation*, la *technicité* et la *centralisation*. Par souci de clarté (privilegiée au détriment du niveau de détail), une discrétisation très radicale (de type « tout ou rien ») des valeurs possibles est opérée pour chacune de ces dimensions, qui deviennent ainsi trois oppositions à caractère binaire : « non séparé » *versus* « séparé », « low tech » *versus* « high tech » et « individuel » *versus* « collectif ».

A titre de remarque, précisons que le terme « dimension » est ici utilisé à dessein en référence à une possible représentation graphique d'une classification des différentes techniques à l'aide de cette typologie : chaque dimension pourrait être figurée par un axe dans l'espace tridimensionnel, les trois axes perpendiculaires deux à deux définissant un repère où serait placée chaque technique de traitement. Compte tenu de la bipolarisation retenue pour chaque axe, l'espace est simplement découpé en  $2 \times 2 \times 2 = 8$  zones (ou « boîtes »), et chacun des trois aspects (collecte, transformation, valorisation) d'une technique de traitement peut alors être placé dans l'une ou l'autre de ces boîtes (puisque chacun des trois aspects peut être appréhendé au prisme de chacune de ces trois dimensions).

Il convient d'insister sur le caractère artificiel de cette typologie (ce qui est d'ailleurs le cas de toute typologie, le monde réel ne se laissant pas facilement enfermer dans des boîtes) : nombre de techniques de traitement pouvant relever simultanément de plusieurs boîtes, les contours de ces dernières s'avèrent parfois flous et leurs frontières perméables. C'est d'autant plus vrai compte tenu du caractère fortement simplificateur de l'option binaire retenue : si cette dernière semble défendable (du moins en première approximation) pour la dimension « séparation » (qui renvoie naturellement à la différence fondamentale — et donc l'indispensable distinction — entre urines et matières fécales), elle l'est bien moins pour la « technicité » (dont le degré varierait plutôt de manière continue) et la centralisation (la distinction « individuel/collectif » est ambiguë : sans même parler du degré de collectivisation — qui peut être mise en œuvre à différentes échelles territoriales, depuis l'immeuble jusqu'au pays, en passant par l'îlot, le quartier, etc —, une technique mise en œuvre non pas par un individu *stricto sensu* mais par un ménage ou une famille est-elle individuelle ou collective ?...)

---

41 Nous laissons également de côté l'épandage des boues d'épuration car l'option retenue est d'écarter du cadre de cette étude tout traitement conduisant au mélange des excréta avec de l'eau potable.

42 Elain, 2007, p. 43-44

43 « Amender » un sol signifie améliorer la structure de celui-ci, augmenter sa capacité à retenir l'eau et à fournir aux plantes les éléments nutritifs nécessaires à leur développement.

44 Incidemment, c'est aussi une source de nourriture pour les plantes, mais « en différé », contrairement à l'urine, qui peut être utilisée directement et qui est rapidement assimilée. Potentiellement, les « vocations » respectives de l'urine et des fèces sont donc distinctes et complémentaires.



Ces remarques préliminaires étant faites, nous proposons d'illustrer cette ébauche taxinomique au travers de quelques exemples dans chacune des huit « boîtes typologiques » proposées, illustration qui n'est qu'un aperçu très lacunaire de la variété des dispositifs et de la multitude de modèles disponibles sur le marché, dont l'ouvrage *Un petit coin pour soulager la planète* de Christophe Elain offre un panorama détaillé.

#### *Type 1 : non séparé, low tech, individuel*

La technique de traitement la plus basique équivaut à une apparente « absence de traitement » : il s'agit de collecter (éventuellement avec intermédiaire d'un récipient) et de confier les excreta liquides et solides au fur et à mesure qu'ils viennent (pas de stockage intermédiaire, donc) à Dame Nature, qui prend en charge la transformation et la valorisation par le biais des organismes présents dans et sur le sol (cf. annexe 1).

Ce traitement en apparence très simple (et préconisé comme étant « le plus efficace » par certains adeptes de techniques agricoles alternatives) impose néanmoins certaines contraintes et précautions :

- il nécessite une surface relativement importante non artificialisée, dotée d'un écosystème suffisamment riche (qui doit être entretenu, favorisé, pour ne pas dire « cultivé ») et, pour des raisons pratiques, à proximité (plus ou moins) immédiate de l'habitation ;

- cette surface doit être gérée de manière rationnelle, avec le tenue d'une « carte » (qui peut n'être que mentale) spatiale et temporelle, mise à jour en permanence, pour laisser s'écouler le temps nécessaire à la transformation, qui peut alors être suivie d'une valorisation, par exemple maraîchère, des zones ainsi fertilisées ;

- la mise en place de barrières physiques temporaires et amovibles peut s'avérer nécessaire pour éviter des visites inopportunes (animaux, enfants,...) avant la fin du processus de transformation ;

- afin d'éviter certaines nuisances (olfactive, prolifération de mouches,...), un juste équilibre carbone/azote (cf. annexe 1) doit être maintenu en permanence (le plus souvent, un ajout raisonné de matières carbonées — terre sèche, feuilles mortes, morceaux d'écorces, copeaux de bois,... — suffit) ; les praticiens expérimentés de cette technique combinent d'ailleurs le traitement des excreta avec celui d'autres matières à recycler (certains déchets de cuisine, broyat du produit d'élagages, cartons,...), qui contribuent à l'équilibre carbone/azote adéquat ; certaines de ces matières (cartons non fragmentés) peuvent par ailleurs faire office de barrière provisoires (biodégradables) contre de petits visiteurs indésirables (oiseaux).

Cette technique comporte des variantes, notamment au niveau du stockage intermédiaire (évitant d'avoir à visiter la zone de traitement plusieurs fois par jour et par nuit), mais toujours de courte durée (quelques heures).

Il est à noter que surtout sous sa forme basique, la surface au sol relativement importante que nécessite un traitement de ce type rend ce dernier *a priori* peu adapté à un environnement urbain dense.

#### *Type 2 : séparé, low tech, individuel*

La principale différence avec les techniques de « Type 1 » est que les fèces sont séparées des urines à la source. L'inconvénient de la nécessité de disposer d'un récipient est plus que compensé par la possibilité de profiter *hic et nunc* de cet « or liquide » qu'est l'urine (cf. annexe 1) qui, diluée dans un arrosoir d'eau, est valorisable immédiatement aux endroits souhaités : en effet, les plantes (potager, arbustes arbres,...) assimilent rapidement les minéraux (notamment l'azote et le phosphore) ainsi fournis et, si le teneur du sol en matières carbonées est suffisante, tout risque d'odeur est éliminé (les problèmes liés à la présence éventuelle de résidus médicamenteux sont très relatifs ; cf. annexe 1).

Le traitement des excreta solides est légèrement modifié par rapport à ce qui a été dit pour le « Type 1 » au sens où pour maintenir l'équilibre carbone/azote adéquat, il est nécessaire, pour les apports de matières complémentaires, de tenir compte de l'absence d'urine (valorisée ailleurs).

#### *Type 3 : non séparé, high tech, individuel*

La différence par rapport au « type 1 » est que nous entrons dans le domaine du « high tech »... un high tech pouvant être tout relatif.

Au niveau de la **collecte**, cette différence se traduit par la nécessité d'un réceptacle (accompagné, le plus souvent, d'un local dédié) plus ou moins sophistiqué : les fameuses « toilettes sèches », pouvant être déclinées sous de multiples formes, depuis la TLB (Toilette à Litière Biomaîtrisée) — qui, elle-même, a de nombreuses variantes plus ou moins élaborées (la plus simple étant le seau où l'on ajoute une louche de sciure à chaque usage) — jusqu'à des systèmes très sophistiqués en matériaux nobles et au design soigné, munis de dispositifs variés visant à apporter du confort et à faciliter l'utilisation (clapet, tiroir de vidange, doseur automatique de matières carbonées, etc).

Cette différence de collecte, s'accompagnant d'un stockage, a des conséquences sur la **transformation**. Les variantes sont multiples, en fonction, notamment de la durée du stockage sur le lieu de la collecte :

- s'il est de courte durée (quelques jours, voire une semaine), le transport de la matière vers le lieu dédié à la transformation (souvent par compostage — cf. annexe 1) ne requiert pas forcément de matériel à proprement parler *high tech* : un simple seau vidé épisodiquement dans un composteur bricolé en bois de palettes au fond du jardin peut suffire, auquel cas la

transformation relève plutôt d'une variante du « Type 1 » (tout dépend où l'on place la frontière entre *high tech* et *low tech*) ; mais il existe toute une gamme de dispositifs plus ou moins automatisés qui acheminent les excréta depuis le collecteur une fois plein vers un composteur qui, lui aussi, peut se décliner selon des degrés de technicité très variables (aération mécanique, contrôle du degré d'humidité, brassage mécanique, introduction d'accélérateurs biologiques du compostage, etc) ;

— un stockage de moyenne durée transforme le lieu de collecte en lieu de « pré-compostage » (avec des contraintes et des équipements spécifiques de plus ou moins haut niveau de technicité), suivi d'un transport à intervalles de temps plus longs (quelques semaines, quelques mois) selon des modalités et à l'aide de technologies variées, vers le lieu du « mûrissement » du compost (cf. annexe 1), là encore avec de multiples variantes (dont le lombricompostage ; cf. annexe 1, §7) ;

— si le stockage est de longue durée, le lieu de collecte se confond avec le lieu de la transformation, ce qui impacte les contraintes techniques et spatiales des dispositifs mobilisés ; dans ce cas, le degré de technicité est souvent important, puisque l'usage au quotidien et la transformation des matières fécales en compost se côtoient en un même lieu. Toute une gamme de modèles décrits dans l'ouvrage de Christophe Elain vise à reproduire, dans un volume réduit, la décomposition naturelle des matières organiques en l'accéléralant par différents dispositifs techniques : plusieurs bras de malaxage qu'un moteur fait fonctionner automatiquement après chaque utilisation, maintien à la température optimale au moyen d'un thermostat et d'un élément chauffant, aération contrôlée au moyen d'un ventilateur, détecteur d'humidité qui met en marche le chauffage et le ventilateur d'évaporation lorsque les liquides sont en excès, etc. Ces modèles sont conçus de manière à ce que l'utilisateur n'ait à retirer des toilettes que le produit fini — le compost prêt à l'emploi. Une variante est proposée par d'autres modèles, dont l'installation requiert plus de place (idéalement, un local situé juste en dessous de la pièce des toilettes, par exemple à la cave si celles-ci sont au rez-de chaussée) mais qui présentent l'avantage de la grande capacité et donc la possibilité de garder les solides à composter durant plusieurs années, ce qui élimine le risque de survie de certains pathogènes (cf. annexe 1, §7).

Enfin, puisque le « Type 3 » relève de la catégorie « individuel », la **valorisation** repose essentiellement sur l'utilisation locale du compost obtenu au cours de l'étape de la transformation pour amender des sols de culture (potager, verger,...), potentiellement avec dissémination dans le voisinage immédiat.

Il est à noter que le compostage n'est pas le seul traitement disponible sur le marché des toilettes sèches : certains modèles mettent en œuvre diverses techniques de déshydratation en vue d'une incinération, par exemple.

#### *Type 4 : séparé, high tech, individuel*

Concernant la **collecte**, la séparation entre urines et matières fécales s'effectue selon deux techniques : l'une consiste à séparer les liquides et les solides au départ (« à la source ») au niveau du siège ou de la cuvette (ce qui nécessite un matériel spécifique, avec toute une gamme de modèles) ; l'autre les sépare dans un second temps. Dans le premier cas, contrairement au second, il n'y a donc pas de contact entre les urines et les matières fécales (si tout se passe bien).

Le **traitement** des fèces est sensiblement le même que dans le cas du Type 3 (souvent simplifiées en raison d'absence de risque d'un excès d'humidité) ; en revanche, les urines bénéficient d'un traitement à part.

Comme pour le Type 3, les solutions sont multiples et dépendent aussi bien de la destination finale des urines que des lieux de stockage, de transformation et de valorisation.

Par exemple, certains modèles compacts assurant la séparation à la source prévoient une évaporation des liquides au moyen d'un chauffage et d'un système de ventilation (avec filtre à charbon à l'entrée du tuyau de ventilation pour retenir les odeurs) fonctionnant en permanence ; une solution relativement économe, donc, d'autant plus que dans certains de ces modèles, l'équivalent d'un verre d'eau est ajouté aux urines à chaque utilisation afin d'éviter la formation d'odeurs au niveau de la cuvette et un trop important dépôt de sel au niveau du tuyau (ce supplément d'eau nécessite alors un surplus d'énergie nécessaire à l'évaporation) ; les solides tombent quant à eux dans un bac (parfois muni d'un sac jetable — ce qui évite d'avoir à laver le bac après chaque vidange — et complété, dans certains modèles, par un dispositif de rotation assurant un remplissage uniforme) et sont déshydratés, perdant jusqu'à 80% de leur volume.

D'autres modèles conduisent les urines vers un container pour être stockées en vue de leur valorisation ultérieure en tant que fertilisant... ou avant d'être envoyées dans un système de traitement des eaux usées.

D'autres modèles encore fonctionnent avec un WC classique, la séparation s'effectuant non pas à la source, mais grâce aux forces centrifuges qui résultent de l'eau chassée : dans un séparateur (dont la forme est spécialement étudiée), les solides descendent par gravité dans une chambre où ils sont compostés et les liquides sont dirigés vers une « unité UV », où ils subissent un traitement aux ultraviolets qui éliminent les organismes pathogènes.

Dans d'autres systèmes, les matières solides (qui, en raison de la séparation des urines, contiennent moins d'eau que dans les systèmes non séparatifs) sont incinérées (en utilisant du propane, du gaz naturel ou de l'électricité), ce qui détruit de manière radicale les pathogènes et réduit drastiquement le volume, mais au prix de beaucoup d'énergie.

#### *Type 5 : non séparé, low tech, collectif*

Certaines toilettes sèches amovibles utilisées dans le domaine « événementiel » font partie de cette catégorie. Une fois l'événement terminé, le prestataire du service se charge du transport des matières vers une « centrale de compostage » où elles sont traitées (les grands volumes favorisent la montée en température et accélèrent naturellement le processus du compostage ; cf. annexe 1) avant d'être valorisées (espaces verts, agriculteurs).

En « fixe », le low tech collectif concerne surtout (mais pas exclusivement) les toilettes publiques, pour lesquelles un « modèle à double compartiment » (cabine surmontant deux chambres de compostage utilisées en alternance) peut parfaitement convenir. Dans son ouvrage, Christophe Elain donne un « mode d'emploi » permettant à toute personne « un peu bricoleuse » de le réaliser<sup>45</sup>, moyennant des techniques et un matériel réduits au strict minimum, avec différentes options, toutes *low tech* (par exemple, pour l'aération nécessaire au processus du compostage et risquant de faire défaut dans le cas des matières fécales qui ont tendance à s'agglomérer — cf. annexe 1, §7 —, quatre options sont proposées : « grille sur briques », « tubes fendus ou troués », « filet suspendu » et — la plus *low tech* de toutes — « tas de branchages »).

#### *Type 6 : séparé, low tech, collectif*

La catégorie « à séparation » du « low tech collectif » peut être illustrée par des variantes du même modèle à double compartiment (cf. Type 5), dont Ch. Elain décrit également des versions où les urines sont séparées des matières fécales à la source, permettant ainsi des valorisations distinctes : matières solides par compostage, urines selon d'autres modalités.

Autre exemple, mais destiné spécifiquement aux urines, l'*Uritrottoir* est un « urinoir sec destiné à lutter contre les « pipis sauvages » en zone urbaine. Les urines sont collectées dans un bac rempli d'une litière végétale qui piège les odeurs tant que les urines ne dépassent pas le niveau supérieur de la matière sèche. Une fois collecté, le produit est composté sur une plate-forme étanche » (De Looze, 2018, p. 86). Dans le même ordre d'idée, l'*Uritonnoir* (urinoir-entonnoir) est un « urinoir sans eau utilisé comme solution sanitaire lors de festivals et autres événements festifs extérieurs. L'*uritonnoir*, piqué dans une botte de paille, collecte les urines. La paille fait office d'éponge et de piège à odeurs jusqu'à 60 mictions par jour et par *Uritonnoir*. » (Ibid.).

#### *Type 7 : non séparé, high tech, collectif*

Le système adopté dans l'immeuble accueillant le groupe *Wohnen & Abeiten* à Fribourg relève de cette catégorie. « C'est le système sous vide qui a été retenu ici pour les 25 toilettes installées. A chaque utilisation un litre d'eau est ajouté aux excréments solides ou liquides » (Elain, 2007, p. 165). Concernant le **traitement** et la **valorisation**, la pompe à vide aspire ce mélange et l'achemine vers une centrale de biogaz qui récupère « d'une part, les éléments fertilisants destinés à des terres agricoles et, d'autre part, le gaz. » (Ibid.) Dans cette réalisation, la production de gaz équivaut à « deux à trois fois la quantité nécessaire pour alimenter les gazinières de tous les appartements » et le surplus est envoyé « vers une unité de cogénération fonctionnant au gaz et fournissant du chauffage et de l'électricité. » (Ibid.)

Cet exemple est intéressant au sens où un système utilisant une pompe à vide (qui permet d'aspirer les excréments avec un ajout modéré en eau) est considéré par certains comme une très bonne solution pour les villes (immeubles collectifs), car cette option qui ressemble au principe d'un WC classique offre à l'utilisateur un confort et un fonctionnement proche de « ce à quoi il est habitué », tout en limitant la consommation d'eau et en offrant une possibilité de valoriser les excréments. À noter cependant que cette solution, bien que très fiable, nécessite tout de même de l'électricité pour la pompe et une certaine quantité d'eau, et que son installation exige des compétences certaines.

#### *Type 8 : séparé, high tech, collectif*

Le cas des vingt-six toilettes à séparation installées au Centre des Sciences à Göteborg (Suède) est une illustration de cette dernière catégorie, notamment sous l'angle du « degré de technicité » du **traitement** et de la **valorisation** de l'urine. En effet, celle-ci est en partie « utilisée sur place dans un système aquacole qui associe phytoplancton, zooplacton et poissons. Une autre partie sert à étudier les possibilités de récupération du phosphore et de l'azote par effet de précipitation avec la struvite et l'adsorption minérale avec la zéolite. Le restant est utilisé comme fertilisant agricole. » (Elain, 2007, p. 166). On peut regretter que dans cet exemple techniquement aussi « pointu », les matières fécales soient envoyées dans le tout-à-l'égout... Dans le domaine des toilettes sèches pour lieux publics, nous pouvons évoquer ici certains modèles (dont les prix sont certes élevés mais qui semblent donner entière satisfaction) où « les matières fécales le papier et les urines atterrissent ensemble sur un tapis roulant incliné. Les urines s'écoulent vers le bas et les matières solides sont entraînées vers le haut du tapis. Arrivées au sommet du tapis elles tombent alors sur la zone d'accumulation en contact avec la terre. Grâce à une pédale placée à côté du siège des toilettes, l'utilisateur actionne le tapis roulant. Le tunnel d'accumulation est prévu de manière à ce que la pluie qui l'atteint sur le dessus le traverse et apporte ainsi l'humidité aux vers. [...] Après transformation on peut estimer

---

45 (Elain, 2007, pp. 128-139)

que 1 m<sup>3</sup> va donner environ 100 litres de lombricompost »<sup>46</sup> prêt à être valorisé. Une variante par rapport à la technique du lombricompostage (cf. annexe 1, §7) est celle de la mise en sac automatique et séchage : arrivées au sommet du tapis roulant, les matières solides tombent dans des sacs placés dans un « manège de stockage » où elles sont séchées grâce à l'action d'un ventilateur mécanique. Il est à noter que les différents appareils participant au fonctionnement de ces systèmes (tapis roulant, ventilateur, éclairage,...) sont alimentés par panneau solaire et que l'eau du lave-main à eau pulvérisée (permettant à une quinzaine de personnes de se laver les mains avec un seul litre d'eau) peut provenir de la récupération de la pluie tombant sur le toit des toilettes.

Les urines, bien que s'écoulant de leur côté, sont néanmoins en contact, au départ, avec les matières fécales avant d'en être séparées ; pour cette raison — et bien qu'elles soient, dans certains cas de figure, envoyées dans une cuve de stockage —, elles doivent subir un traitement *ad hoc* avant de pouvoir être utilisées comme fertilisant.

La variété partiellement rendue par cette « ébauche taxinomique » peut laisser perplexe : pourquoi autant de manières de faire, quelle est la raison d'un tel étalage (d'ailleurs très incomplet) de différentes techniques ? La réponse est à rechercher dans le simple fait que chacune de ces dernières peut faire l'objet d'un argumentaire convaincant en sa faveur. Pour illustrer ce point, considérons par exemple la première « dimension » de notre typologie — celle qui oppose « séparé » à « non séparé ».

En faveur de la séparation, bien des arguments peuvent être mobilisés. Par exemple (Elain, 2007, p. 68) :

- alors que les urines posent un problème de volume, celui des matières fécales relève de l'hygiène ; les mélanger revient à réunir ces deux problèmes, alors que la séparation permet de retenir le traitement spécifique approprié à chaque élément ;
- dans les toilettes sans séparation, la présence des liquides nécessite une quantité supplémentaire significative de matière carbonée, jouant le rôle d'éponge ; de plus, l'absence d'urine (à forte teneur d'azote) dans les toilettes à séparation permet de maintenir le bon équilibre carbone/azote (cf. annexe 1) avec un ajout en quantité plus limitée de ces mêmes matières carbonées ; cet argument peut être décisif lorsque les toilettes ont une capacité de stockage limitée ;
- lorsque les matières fécales ne sont pas utilisées pour fertiliser la terre (en cas d'impossibilité de pratiquer le compostage, par exemple), les urines collectées séparément peut être valorisée facilement et rapidement ;
- l'azote dans l'urine se présente essentiellement sous une forme rapidement assimilable, ce qui assure un bon démarrage et une croissance importante des végétaux ;
- l'urine étant stérile dans la plupart des cas, il est possible de la manipuler et de l'utiliser comme fertilisant sans qu'il y ait de grands risques pathogènes ;
- la séparation limite le taux d'humidité de la partie solide, ce qui diminue le risque d'attirer les mouches, mais également l'énergie nécessaire à la déshydratation (lorsque cette option est retenue) ;
- la salinité de l'urine et de l'ammoniac (issu de la transformation rapide de l'urine) peut être préjudiciable aux organismes du compost (cf. le lombricompostage à l'annexe 1, §7) ;

— ...

Cette liste (non exhaustive) à la Prévert semblent ne laisser d'autre choix que de privilégier sans réserves la séparation. Mais celle-ci n'est ni l'universelle panacée, ni exempte de divers problèmes (Elain, 2007, p. 70) :

- elle ne dispense pas de la gestion des matières fécales ;
- pour que solides et liquides soient bien envoyés aux endroits qui leurs sont réservés, il est indispensable que le corps de l'utilisateur soit positionné correctement, ce qui nécessite un apprentissage ; en particulier, les visiteurs occasionnels peuvent se sentir perdus ;
- l'installation nécessite une grande vigilance pour éviter le risque de dépôt qui se produit en cas de stagnation de l'urine à un endroit ou lorsqu'elle n'est pas parfaitement évacuée de la cuvette ce qui, en plus des odeurs, risque de finir par boucher les tuyaux ;
- la forte concentration de l'urine et l'instabilité de ses composants ne sont pas forcément simples à gérer : l'ammoniac produit se dégage si l'urine est stockée à l'air, faisant ainsi perdre à l'urine beaucoup de sa valeur fertilisante ;
- l'apport des seuls engrais minéraux contribue à la disparition de l'humus, d'importance fondamentale pour les sols ; or l'urine, après transformation, étant comparable à un engrais minéral, son utilisation rend indispensable une gestion correcte de la matière organique ;

— ...

En fait, quel que soit le critère, en étudiant les raisons de ceux qui choisissent une technique plutôt qu'une autre (un exercice auquel s'est livré Christophe Elain pour écrire son ouvrage), on s'aperçoit sans surprise que la décision est évidemment liée au contexte, aux objectifs visés, au budget, etc. Pour ne prendre qu'un exemple (toujours relatif à la première dimension) : « ne pas avoir à vider trop souvent le container recevant les solides est une priorité pour certains, et c'est ce qui les fait choisir

---

46 (Elain, 2007, p. 120)

*la séparation. Pour d'autres, l'objectif est d'apporter le maximum d'humus à la terre ; dans ce cas, l'utilisation des liquides et des solides pour le compostage apparaît généralement comme une évidence et les toilettes sans séparation sont adoptées.* » (Elain, 2007, p. 71). Mais le choix de tel ou tel modèle peut aussi être dicté par des impératifs énergétiques (certains modèles, notamment ceux à évaporation, peuvent s'avérer être assez consommateurs à l'usage) ou de facilité d'utilisation et de maintenance, ou encore par des considérations relatives à la dépendance vis-à-vis d'une technologie que seul un spécialiste est à même de maîtriser et nécessitant des éléments dont la production fait appel à des matériaux et des énergies non renouvelables.

Dans le domaine de la gestion des excréta humains, les possibilités de passer du déchet à la ressource sont nombreuses, de même que les techniques pouvant être mises en œuvre à cette fin. Chaque technique a son domaine de pertinence, ses avantages, ses contraintes, ses faiblesses... et, à n'en point douter, ses retombées sur l'organisation des espaces, notamment urbains

### 5.2.5. Conclusion

Le dernier siècle représente une parenthèse historique dans la manière de considérer et de traiter nos excréments. Cette parenthèse repose, entre autres facteurs, sur l'hypothèse du caractère infini des ressources énergétiques et/ou du potentiel naturel de recyclage des déchets : on peut faire n'importe quoi (comme mélanger eau potable, urines, fèces), la nature ou le recours aux énergies inépuisables et bon marché se chargeront de réparer les désordres occasionnés.

Le constat de diverses pénuries annoncées — parmi lesquelles celle de l'eau, de l'azote et du phosphore, éléments indispensables à notre survie — rend de plus en plus pertinente l'idée du recyclage de nos excréta en nourriture par le biais d'une agriculture vivrière de proximité. Les éléments « techniques » pour un tel changement de paradigme semblent ne pas poser de problèmes notables. Certes, le foisonnement de traitements envisageables et proposés pourrait être interprété comme un malaise, une indécision, voire une nécessité « d'attendre encore » pour que soit inventée la solution idéale. Il est vrai, d'ailleurs, qu'à ce jour, le consensus n'existe pas. Par exemple, certains estiment que la séparation combinée à de la haute technologie et utilisant encore un peu d'eau (en moins grande quantité que les chasses d'eau actuelles) permet d'obtenir les meilleurs résultats dans les villes occidentales : selon eux, une étape est nécessaire entre le système « classique » et un système peut-être plus radical à l'avenir. D'autres préconisent, à l'inverse, des procédés simples, *low tech* et bon marché, comme les toilettes sans séparation avec utilisation de la gravité (il est vrai qu'à résultat égal, le *high tech*, fût-il fiable, peut poser, sous différents aspects, bien plus de problèmes que des pratiques toutes simples).

Mais au final, la très grande variété de techniques qui se côtoient ne traduit-elle pas tout simplement la diversité humaine et la multiplicité des contextes ? Ou, dit lapidairement : « n'en faut-il pas pour tous les goûts » ?

Néanmoins, l'unique certitude que nous ayons est que l'offre seule de solutions techniques, aussi variée soit elle, ne suffira pas pour qu'une « prise de conscience » ou une « manifestation d'intérêt », même collective, se traduise en dynamiques concrètes allant dans le sens du « niveau 5 d'assainissement » d'Emmanuel Adler. Alors, qu'en est-il « sur le terrain » ?

### 5.3. Vers une révolution du statut des excréta en milieu urbain ? Dynamiques et freins

Si, en théorie, la faisabilité d'un recyclage des excréta humains des habitants des villes pour produire de la nourriture semble avérée, nos sociétés sont-elles prêtes pour un changement radical de la manière de considérer leurs déjections, passant du paradigme du « *rêve d'une société qui traite ses déchets sur le mode du déni* » à celui « *réinscrivant l'existence humaine dans les boucles métaboliques du monde vivant* » ? Sont-elles prêtes à franchir le pas et passer du vœu pieux à l'action ?

Le présent document ne saurait répondre à cette question (si tant est qu'il soit seulement possible d'y répondre) ; tout au plus avons nous tenté de rassembler des indices témoignant de l'existence (et du développement ?) de dynamiques œuvrant dans ce sens, sans pour autant réussir à évaluer dans quelle mesure ces dynamiques sont à même — ou non — de vaincre les freins et les inerties, toujours très présents.

Cette section s'appuie conjointement sur un travail de terrain à Est-Ensemble, d'une part et, d'autre part, sur une recherche bibliographique et une « enquête virtuelle pluriannuelle sur la toile »<sup>47</sup>, destinées à situer nos observations sur le territoire étudié par rapport à un contexte plus vaste.

---

47 expression que nous préférons à « navigation régulière sur le Web durant les quelques dernières années »

### 5.3.1. Quelle valorisation des excréta par l'agriculture urbaine à Est-Ensemble ? — état des lieux

Rappelons que l'objectif du projet SOFT est de proposer — sur le territoire de la communauté d'agglomération Est-Ensemble, en Ile-de-France — des scénarios réalistes visant à en améliorer l'efficacité énergétique et ce, notamment, *en tenant compte des attentes et des pratiques des habitants*.

Sur ce dernier point, des travaux menés à Est-Ensemble par Rémi Pioli, Maylis Poirel et Mariane Thébert dans le cadre du projet SOFT (cf. le chapitre intitulé *Sur le chemin de la sobriété : quel rôle pour les citoyens et leurs associations ?* dans le rapport du lot 2) avaient déjà mis en évidence, à Montreuil, Romainville et Les Lilas, un tissu associatif dense. L'activité de certaines de ces associations est clairement en lien direct avec l'agriculture urbaine : création de potagers expérimentaux (témoignant d'un désir d'apprentissage des méthodes d'agriculture biologique), actions en faveur des jardins partagés et solidaires, aide au lancement de composts (accompagnement d'un projet pilote d'une douzaine de sites de composts de quartier et d'une cinquantaine en pied d'immeuble), éducation à l'environnement et éducation populaire, formations et ateliers (potager naturel, compostage, métier de jardinier), accompagnement de jardins écologiques en pied d'immeuble.

Dans le cadre de la présente contribution, l'objectif du travail de terrain était de compléter cet état des lieux par une enquête élargie à la totalité du territoire d'Est-Ensemble et destinée à mettre en évidence d'éventuelles activités, initiatives ou, au moins, velléités allant dans le sens d'un traitement local individuel ou collectif d'excréments (dans l'idéal, conjointement à une activité agricole vivrière).

Les attendus de ce travail — de nature exploratoire et entamé sans aucune idée préconçue — n'étaient pas clairement définis, car dépendants des résultats de l'enquête :

— en cas de présence avérée de telles pratiques, ce sont les retours d'expériences qui devaient être questionnés : nature de l'activité (montage juridique et administratif), processus de mise en place, acteurs impliqués, rôles respectifs de ces derniers, partenariats, difficultés ou obstacles rencontrés, viabilité économique (en cas d'insertion dans un circuit d'approvisionnement local, par exemple), transposabilité de l'expérience, impacts socio-économiques locaux (contribution à l'émergence ou le renforcement de pratiques d'échanges locales et de réseaux de liens de voisinage, par exemple),... ;

— dans le cas contraire, il était prévu, à défaut de pratiques, que l'enquête s'attache à dresser un état des lieux en termes d'intérêt que ces thématiques peuvent susciter auprès des acteurs associatifs et des collectivités (donc en termes de dynamique pour que ces pratiques se développent à plus ou moins long terme), vérifier l'existence d'une « demande exprimée » (par delà une simple manifestation d'intérêt) pour l'émergence de telles pratiques, comprendre pour quelles raisons cette demande ne s'est pas concrétisée, identifier les obstacles et les atouts de ce territoire,... ; le travail de terrain pressenti devait alors prendre une autre tournure en complétant sa vocation première de « collecte d'information » par celle de « diffusion d'information », apportant ainsi une contribution à une prise de conscience, sur le site d'Est-Ensemble, des enjeux de ces pratiques, voire au partage de retours d'expériences réussies sur d'autres sites, en France ou à l'étranger<sup>48</sup>.

L'enquête a été menée au printemps et en début d'été 2020.

La phase d'identification de personnes à contacter a débuté par des échanges avec certains des contributeurs<sup>49</sup> aux rapports de deux projets de recherche<sup>50</sup> (l'un et l'autre contenant une liste d'interlocuteurs potentiels à Est-Ensemble), complétés par une investigation sur la toile<sup>51</sup> en vue d'identifier des acteurs (aussi bien institutionnels qu'associatifs) susceptibles d'être impliqués d'une manière ou d'une autre dans la thématique du recyclage des excréta à des fins agricoles. Au début de la démarche, les tentatives de prises de contact se sont, pour beaucoup, révélées être des impasses. Mais de fil en aiguille, le cercle des interlocuteurs s'est peu à peu élargi et diversifié. Parmi les « personnes-ressources », une mérite d'être citée en particulier : Pauline Sy (du LAB3S)<sup>52</sup> qui a fourni un nombre considérable de contacts, dont la plupart a ultérieurement donné suite à mes demandes d'entretien.

---

48 Le mimétisme peut être un moteur puissant de changement au sein d'une société.

49 notamment Mariane Thébert du LVMT

50 SOFT (sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport, rapport du lot 2) et VITE ! (Villes et Transitions Énergétiques, dossier intitulé *Changement des pratiques vers la sobriété énergétique*).

51 Terme que nous privilégions par rapport à « le Web »

52 Un autre intérêt de l'échange (19/06/2020) avec Pauline Sy est la découverte, à Bondy, du LAB3S — Laboratoire Sols Savoirs Saveurs, un organisme créé à l'initiative d'Est-Ensemble et de l'Institut de Recherche pour le Développement — qui « fédère chercheurs, collectivités territoriales et acteurs de l'économie sociale et solidaire de l'Est parisien pour apporter des solutions aux défis de la transition écologique, l'agriculture urbaine et l'alimentation durable pour tous » (<https://www.lab3s.fr/>).

En raison de la crise sanitaire du Coronavirus COVID-19, l'enquête s'est déroulée exclusivement par téléphone, sous forme d'entretiens non directifs. Un « guide d'entretien » était prévu pour entamer (parfois relancer) le dialogue, mais également pour éviter que la discussion ne s'écarte trop de la thématique abordée (cas assez fréquent lorsque l'interlocuteur est un passionné fortement impliqué dans une activité associative). A titre indicatif, ce guide d'entretien figure en **annexe 2** (dans les faits, il n'a que très peu servi).

Au fur et à mesure de la progression de l'enquête, il est apparu que pour produire un état des lieux qui fasse sens, il serait souhaitable d'élargir la variété des interlocuteurs contactés : au lieu de focaliser uniquement sur le tissu associatif et les représentants de collectivités (comme prévu initialement), il a été décidé d'inclure dans l'étude des entreprises et des acteurs du monde de la recherche. Parmi les raisons ayant motivé ce choix figurent notamment diverses allusions et suggestions<sup>53</sup> des personnes interrogées à l'occasion de certains entretiens, témoignant de l'existence de liens informels dont l'état des lieux se devait de rendre compte.

Au final, des acteurs issus de quatre « milieux » ont donc été inclus dans l'enquête : milieu **associatif**, milieu décisionnel (**collectivités**), milieu économique (**entreprises**) et milieu de la **recherche**, en sachant que le nombre d'entretiens se répartit de manière très inégale entre ces quatre catégories, notamment en raison d'un taux de réponse (ou de disponibilité) très variable d'une catégorie à l'autre.

Cet élargissement « catégoriel » a également conduit à un élargissement d'échelle, puisqu'il s'est avéré, notamment pour les entreprises (dont malheureusement peu ont donné suite à mes demandes d'entretien), que si elles n'étaient pas physiquement situées sur Est-Ensemble, ce territoire faisait souvent partie de leur champs d'action, d'une manière ou d'une autre.

Nous reprenons ci-dessous les éléments les plus significatifs de ces entretiens (dont **l'annexe 2** rend compte d'une manière plus détaillée au travers d'une retranscription néanmoins sélective et abrégée, catégorie par catégorie).

#### — Acteurs associatifs

S'il est vrai que seule *une* association (*Le Sens de l'Humus*) pratique, depuis quelques années, le compostage d'excréments (mais uniquement ceux des membres de l'association) pour fertiliser des arbustes (c'est cette même association qui, pendant un temps, a mené une collaboration non reconduite avec une entreprise fonctionnant à l'échelle du territoire français et spécialisée dans la collecte et le compostage de déjections humaines), une réelle manifestation d'intérêt pour le recyclage des excréments *via* l'agriculture locale apparaît comme une constante dans l'ensemble des entretiens, de même qu'une demande d'informations sur ces pratiques. La plupart des interlocuteurs se déclarent être prêts à tenter une expérimentation grande nature sur leur site, à condition toutefois de pouvoir bénéficier d'une collaboration avec un laboratoire pour assurer le suivi sanitaire de l'expérience, et qu'en plus de la diffusion d'information, soit mise en place une formation (même « en amont », c'est-à-dire sur les sites scolaires) à ces pratiques. Car c'est tout un état d'esprit qui est à faire acquérir face aux excréments, afin que ces derniers commencent à être considérés comme une ressource potentielle. A cet égard, certains interlocuteurs font état « d'obstacles culturels » à ce genre de pratiques, d'autres évoquent des obstacles législatifs tels que le statut de « déchet » de l'urine. A côté de ces déclarations d'intention, une expérience ambitieuse est en cours de réalisation — un projet incluant la récupération des eaux de pluie et la gestion des déchets (y compris les excréments) *via* une petite centrale de méthanisation, et dont le porteur (créateur de *On sème tous*) insiste sur l'importance, pour la réussite du projet, de collaborations avec les entreprises et le monde de la recherche.

Face à cette **demande exprimée** (information, suivi, encadrement, formation), encore rarement suivie d'actions ou de projets concrets, il reste à mener une **réflexion sur l'offre** qui pourrait être mise en place, ainsi que sur les actions à mener pour modifier le cadre législatif.

#### — Collectivités

---

Parmi les activités récentes du LAB3S, on peut noter deux collaborations menées actuellement sur les sols et qui, bien que ne relevant pas directement de la valorisation des excréta humain en agriculture, portent sur des thématiques se prêtant à d'éventuelles passerelles : Approfondissement les connaissances sur les techniques de restauration des sols sur le territoire d'Est Ensemble (cf. <https://www.lab3s.fr/post/approfondir-les-techniques-de-restauration-des-sols-urbains-sur-le-territoire-d-est-ensemble>) et Co-construction de connaissances et de pratiques pour valoriser les sols urbains de la Seine-Saint-Denis (<https://www.lab3s.fr/post/l-l-C3%A9quipe-du-projet-ipaup-c93-laur-C3%A9ate-de-l-appel-C3%A0-projet-co3-de-l-ademe>).

53 Du type : « il faut que vous contactiez [telle entreprise], j'ai entendu dire qu'elle travaillait sur ces questions ».

Le propos dénote une position procédant d'une logique « d'accompagnement » : si des pratiques de recyclage des déjections humaines par l'agriculture de proximité doivent se mettre en place sur le territoire d'Est-Ensemble, l'initiative doit obligatoirement venir des acteurs associatifs. L'importance de la mise en place de collaborations avec des entreprises d'envergure régionale ou nationale est également mise en avant, ainsi que le fait que toute expérimentation dans ce domaine doit se faire en collaboration avec un laboratoire de recherche, afin d'obtenir une dérogation à la législation en place qui, pour l'instant, n'autorise pas ces pratiques.

Ces constats confirment, d'une part, l'importance du tissu associatif (acteur majeur), des liens entre acteurs relevant de différentes échelles et de l'obstacle législatif et, d'autre part, le manque d'information sur ces questions (à cet égard, l'évocation récurrente et la montée en épingle systématique des dangers des résidus médicamenteux dans les urines, par exemple, est symptomatique).

#### — Entreprises

L'unique entreprise ayant répondu à la demande d'entretien, *Les Alchimistes*, est spécialisée dans le compostage industriel et la commercialisation du compost au plus près des villes pour limiter les distances de transport et favoriser l'économie circulaire à l'échelle locale, ce qui implique la nécessité de pouvoir disposer d'espaces non bâtis — d'une superficie relativement importante puisqu'il s'agit de compostage industriel — au sein du tissu urbain. L'extension des matières compostées (depuis les déchets alimentaires des restaurants et des cantines) aux couches culottes des crèches représente une avancée (toute récente et pour l'instant expérimentale) vers le recyclage (d'une catégorie) d'excréments humains avec, pour objectif, leur utilisation sous forme d'amendement des sols (mais pour l'instant pas pour la production alimentaire, en raison de réticences d'ordre psychologique, alors même que l'épandage des boues des stations d'épuration dans les champs de blé semble ne gêner personne). Outre la contrainte d'une collaboration avec un laboratoire (maîtrise des risques sanitaires), l'expérience met en évidence l'intérêt à élargir la coopération en direction d'autres secteurs, comme par exemple l'Éducation nationale (avec un nécessaire tri sélectif des couches au sein des crèches pour séparer les couches biodégradables de celles qui ne le sont pas), de la Santé (hôpitaux, maisons de retraite), et des producteurs de couches-culottes (notamment pour inciter ces derniers à limiter l'usage de matières plastiques au profit de matériaux biodégradables ; la Loi d'Économie Circulaire de février 2020, engageant la responsabilité des producteurs sur la fin de vie de leurs produits, va dans ce sens). L'entreprise possède plusieurs sites en Île-de-France mais aucun à Est-Ensemble, ce qui dénote également la nécessité, pour les associations sur ce territoire, d'activer des coopérations à des échelles territoriales supérieures.

#### — Recherche

L'état des lieux construit au fil de l'eau depuis deux ans par Marine Legrand du LEESU<sup>54</sup> dans le cadre de sa thèse d'anthropologie ne permet d'identifier aucun « grand projet » de recyclage des urines ou d'excrément qui ait fonctionné en Île-de-France (une étude de faisabilité est en cours à l'hôpital de Saint Vincent de Paul dans le 14<sup>e</sup> arrondissement). Du côté des pratiques des particuliers, elles semblent très rares (une seule pratique de compostage de toilette sèche identifiée au sein du tissu pavillonnaire de Noisy-le-Sec), mais il faut dire que bien que la pratique soit légale (un arrêté de 2009 qui permet aux particuliers de composter les matières fécales sur leur terrain), elle n'avance que « sous le manteau » en contexte urbain. Ce constat de Marine Legrand suggère l'éventualité (qu'un travail de terrain complémentaire devrait vérifier) qu'en raison de certains préjugés et blocages d'ordre culturel, cette pratique est bien plus répandue que ne le laisse penser l'observation.

Une cinquième catégorie d'acteurs aurait donc, dans l'idéal, dû être intégrée à l'enquête : celle des particuliers possédant un jardin, et dont certains utilisent très vraisemblablement des toilettes sèches dont ils compostent le produit pour amender les sols. Toutefois, leur identification en vue d'un entretien est d'autant plus délicate que cette activité se pratique sans doute dans la plus grande discrétion, car susceptible d'être perçue comme étant en marge de la légalité et considérée comme indésirable par le voisinage.

Au final, le bilan de ce travail de terrain, riche d'enseignements, peut être résumé comme suit.

Sur le territoire d'Est-Ensemble, les initiatives et actions concrètes en lien avec la question de la circularité du système alimentation/excrétion se situent avant tout sur le registre de la production agricole locale. Le constat de la présence de ces activités est important, au sens où l'aménagement d'espaces non artificialisés explicitement destinés aux « sols vivants » est une condition *sine qua non* de cette circularité. En revanche, l'autre élément du binôme — la pratique proprement dite du

---

54 Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains ( <https://www.leesu.fr/> ), laboratoire commun de l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil et de AgroParisTech . Ce laboratoire est porteur du programme OCAP (Opération de Collecte Agricole des Phytos Inutilisés, programme de recherche & action sur les systèmes alimentation/excrétion urbains et la séparation à la source des eaux usées, <https://www.leesu.fr/ocapi/> ).



traitement des excréta — est, pour l’instant, quasi-inexistant (à l’exception d’une expérience limitée aux membres d’une association et d’un projet pour 2021).

L’enquête initialement prévue a progressivement été élargie à quatre catégories d’acteurs (associations, collectivités, entreprises, recherche), mais devrait sans doute l’être encore davantage (particuliers, structures d’enseignement, structures de santé,...), tant il est vrai qu’au fil des entretiens, l’idée s’est faite jour que l’émergence d’un système conséquent de recyclage des déjections humaines par l’agriculture ne se ferait pas sans une mobilisation de « forces vives » de toutes catégories et à tous les niveaux. Le préalable nécessaire à une éventuelle transition des pratiques d’assainissement est donc d’identifier ces forces vives (avec leurs atouts, contraintes et blocages spécifiques), de repérer les intérêts convergents (chacun doit « y trouver son compte ») et de les « mettre en réseau ».

Les principaux indices mis en évidence par l’enquête et confortant ce diagnostic sont les suivants :

- de la part de l’acteur « associations », expression d’une *demande d’information et de formation*, doublée chez certains par l’affichage de la volonté de « se lancer », mais *uniquement en collaboration, notamment avec des chercheurs (suivi sanitaire), des entreprises, voire le milieu scolaire* ;
- de la part de l’acteur « collectivités », affirmation de la volonté « *d’accompagner et de faciliter* » toute initiative, qu’elle provienne des acteurs associatifs ou des entreprises, en insistant sur la *nécessité d’un encadrement de ces expérimentations* par des acteurs de la recherche ;
- de la part de l’acteur « entreprises », mise en avant de l’importance des *collaborations avec les différents acteurs de terrain* (pour la mise à disposition de « matière première » exploitable et de surfaces nécessaires au compostage) et de l’adaptation du cadre législatif (ce qui soulève la question du nécessaire *dialogue avec les instances décisionnelles* à l’échelon national) ;
- de la part de l’acteur « recherche », confirmation de *l’existence d’une dynamique montante* (avec néanmoins une invitation à la prudence — caractéristique du monde académique — pour éviter l’écueil de la surinterprétation) se concrétisant encore rarement par des *expériences concrètes qui se présentent comme des « bulles isolées »* (ce qui milite en faveur d’actions œuvrant à les *interconnecter*), et affirmation du rôle du « poids culturel » et de la méconnaissance en tant que frein (ce qui confirme l’importance du *rôle de l’information/formation*).

En termes d’obstacles et d’atouts, on peut donc mettre en exergue :

- le manque d’information, un « verrouillage culturel » face à l’idée d’une agriculture alimentaire fertilisée par des excréments (méfiance directement liée à la méconnaissance évoquée plus haut) et un cadre législatif encore peu adapté, pour les premiers ;
- une vive motivation de l’ensemble des acteurs interrogés de toutes catégories et la présence sur le territoire du LAB3S, dont le rôle est, précisément, de faire le lien entre différents acteurs (la fameuse « mise en réseau » que suggère le diagnostic), pour les seconds.

La dynamique perçue au travers des manifestations d’intérêt identifiées sur le territoire d’Est-Ensemble s’insère-elle dans un mouvement plus vaste, d’échelle nationale voire internationale, avec lequel elle pourrait entrer en synergie... ou dont elle est une expression locale ? Des expériences « venues d’ailleurs » pourraient-elles servir d’exemple, de source d’inspiration, voire être transposés à ce territoire ?

### 5.3.2. Rapide tour d’horizon, en France et à l’étranger, d’expériences collectives...

L’émergence (ou plutôt la réémergence) de pratiques relevant de systèmes alimentation/excrétion circulaires fait l’objet, depuis quelques années, de travaux académiques qui explorent les possibilités et les impacts, en termes de « soutenabilité », de ce « nouveau » paradigme<sup>55</sup> (dont les enjeux vitaux pour l’humanité sont par ailleurs mis en exergue par d’autres travaux récents<sup>56</sup>). « Nouveau » entre guillemets, car c’est plutôt d’un retour à un modèle ayant déjà existé qu’il s’agit. Ainsi, après un siècle de déploiement d’un tout-à-l’égout qui occulte le potentiel fertilisant des excréta, l’assainissement moderne est en train de vivre un tournant, qui n’a cependant rien de « révolutionnaire », au sens où la parenthèse historique du tout-à-

---

55 Cf. par exemple la thèse de Fabien Esculier intitulée *Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques* soutenue en 2018.

56 Cf. par exemple la thèse de Souhil Harchaoui, *Modélisation des transitions en agriculture : énergie, azote, et capacité nourricière de la France dans la longue durée (1882-2016) et prémices pour une généralisation à l’échelle mondiale* soutenue en 2019.

l'égout (parenthèse que nous vivons encore) relève seulement d'une *dé légitimation* — et non pas d'un *oubli complet* — du « monde d'avant » (Legrand, à paraître). En effet, le XX<sup>e</sup> siècle n'a pas seulement « été ponctué par le développement régulier de prototypes de toilettes sèches [...]. Il a également été marqué par la poursuite de pratiques vernaculaires, au moins en contexte rural, ne s'effaçant qu'à mesure de leur stigmatisation. Au point que les chercheurs qui prônent aujourd'hui publiquement l'utilisation de l'urine comme engrais peuvent se voir accusés de réinventer l'eau chaude. On peut donc considérer que **l'utilisation actuelle des urines et matières fécales humaines en agriculture relève avant tout d'un regain de légitimité**. La pratique des toilettes sèches est, depuis les années 1990, au cœur du développement de l'« assainissement écologique » en France. Concernant d'abord des contextes ruraux et événementiels, **les réflexions s'étendent plus récemment aux agglomérations urbaines** à mesure de l'institutionnalisation du sujet. Concomitante de l'implication d'acteurs issus du monde académique au cours des années 2010, cette institutionnalisation va de pair avec l'introduction d'un nouveau cadre d'analyse et d'action, complémentaire au premier, celui de la « séparation à la source des eaux usées », liés à des approches métaboliques insufflées par l'essor de la discipline de l'écologie territoriale. **Les savoirs associés au compostage des matières de toilettes sèches se sont d'abord structurés au sein d'une communauté de pratique où la transmission orale tient une place importante**. S'y dessine une certaine façon d'envisager le devenir souhaitable des excréments : retirer la matière organique de l'eau pour la retourner au sol, revient en un sens à accompagner la métamorphose des déchets corporels en humus [...]. **Le développement plus récent de la recherche académique sur le sujet de la valorisation agricole des excréments décale le cadre en centrant son attention sur les flux massifs de nutriments minéraux** (azote, phosphore, etc.) produits par les grands bassins de population [...]. Ces deux modes de cadrage, en tension et pourtant non exclusifs l'un de l'autre [...] ont [...] en commun de chercher à **redonner aux terres cultivées la matière qui en provient initialement et transite provisoirement par les corps humains**. »<sup>57</sup>

C'est dans ce contexte général qu'il faut insérer les expérimentations de collecte et de valorisation émergeant ici et là en Europe (et sur le point d'émerger à Est-Ensemble ?) au cours des trente dernières années, et dont nous donnons ici quelques exemples.

En Europe de l'Ouest, c'est en Scandinavie et dans les pays germanophones qu'ont été réalisés, dans les années 1990, les premiers projets de séparation à la source des excréta.

En Suède, pays pionnier dans ce domaine, plusieurs écovillages et écoquartier ont été équipés de tels dispositifs il y a déjà plus d'un quart de siècle. Par exemple :

— Dans l'écovillage Understenshøjden de Stockholm, 44 maisons sont équipées de toilettes séparatives, les urines étant collectées via un réseau séparé et stockées dans des citernes avant d'être épandues par un agriculteur dans un champs voisin.

— Au Centre des Sciences à Göteborg, 26 toilettes à séparation ont été installées pour « faire la promotion d'une technique possible pour les villes et de faire prendre conscience aux visiteurs (500 000 en 2001) de la valeur et de l'intérêt des éléments contenus dans l'urine. »<sup>58</sup> Différents usages de l'urine récupérée sont mis en œuvre : outre le classique épandage par un exploitant agricole voisin, une partie sert à des fins scientifiques (étude de diverses possibilités de récupération du phosphore et de l'azote) et une autre partie est également utilisée sur place dans un système aquacole qui associe phytoplancton, zooplancton et poissons.

— Dans l'immeuble Ekoporten à Norrköping, un bâtiment à trois étages comptant 18 appartements tous équipés de toilettes à séparation avec une chasse à faible débit (0,3 litres d'eau), les urines sont stockées dans un conteneur pendant 6 mois, analysées par un laboratoire, puis récupérées par un agriculteur local. Les parties solides sont vidées une fois par semaine sur le compost du jardin, destiné à être utilisé pour les arbustes et les parterre de fleurs (un laboratoire analyse régulièrement le compost). En 2000, ce système a permis « d'éviter le rejet dans la rivière de 83 % de l'azote et de 89 % du phosphore présents dans les excréments [...] »<sup>59</sup>.

— ...

En Allemagne également, les expériences se sont multipliées dès les années 1990.

— Tous les logements d'un lotissement de banlieue à Bielefeld (90 familles) et l'école maternelle voisine sont équipés de toilettes à compost sans séparation des liquides et des solides. Toutes les matières descendent par gravité dans un réceptacle en sous-sol, doté d'un ventilateur fonctionnant en permanence pour favoriser l'évacuation des liquides excédentaires (avec un succès partiel, puisqu'une petite pompe doit évacuer le reste, qui est soit utilisé au jardin, soit envoyé au tout-à-l'égout). Tous les mois, le tas est égalisé et des matières carbonées y sont ajoutées et, tous les ans, le conteneur est vidé dans des

---

57 Legrand, à paraître

58 Elain, 2007, p. 166

59 Elain, 2007, p. 164

composteurs de jardin où, après une année supplémentaire, le terreau obtenu est utilisé pour des fleurs, des arbustes et même **dans les potagers**.

— Le système installé dans les 36 maisons du lotissement de Hambourg-Allermohe fonctionne selon les mêmes principes qu'à Bielefeld, à cette différence près qu'il s'agit ici d'installations individuelles (chacun des nouveaux arrivants s'est équipé de toilettes à compost du modèle de son choix).

— Dans le quartier Vauban de la ville de Fribourg, la quarantaine de personnes du groupe Wohnen & Arbeiten occupe, depuis 1999, seize logements et quatre bureaux dans le cadre d'un projet alternatif attentif aux questions d'énergie et d'assainissement. Pour les 25 toilettes installées, c'est l'option du système sous vide qui a été retenue : à chaque utilisation, les excréta mélangés à un litre d'eau sont conduits par aspiration vers un digesteur qui produit du biogaz (utilisé comme gaz de cuisson) et des éléments fertilisants valorisés sur des terres agricoles.

— ...

En *Autriche*, 106 appartements et une école primaire au sein de la cité Solarcity (Linz) sont équipés de toilettes à séparation, avec utilisation des urines comme fertilisant agricole et compostage des matières solides.

En *Suisse*, dans le canton de Bâle, la nouvelle bibliothèque et l'université des Sciences appliquées sont équipées de toilettes à séparation depuis 2002 (Elain, 2007, p. 166).

A Dübendorf, sur le campus du centre de recherche Empa/Eawag<sup>60</sup>, un bâtiment à vocation administrative et scientifique est équipé depuis 2006 d'urinoirs secs et de toilettes séparatives. L'urine récupérée fait l'objet d'un traitement sur place : au terme d'un procédé qui concentre les nutriments et élimine les résidus médicamenteux, elle devient l'*Aurin*, premier engrais au monde à base d'urine concentrée<sup>61</sup> à être homologué (Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020) ; depuis la fin de la phase d'expérimentation (2015-2018), il est commercialisé par l'entreprise suisse Vuna<sup>62</sup>.

En *Chine*, la ville nouvelle d'Erdros (en construction) dans une région aride de la Mongolie intérieure doit fonctionner uniquement sur des principes « durables » du point de vue de l'eau et des pratiques sanitaires. Selon le rapport d'évaluation du projet datant de 2012<sup>63</sup> (aucun document plus récent n'a pu être trouvé), les quelques 800 logements (sur 1600 prévus) abritant 3000 habitants (sur les 7000 prévus) dans des bâtiments de un à quatre étages sont équipés de toilettes à séparation. Les urines sont récupérées et stockées avant d'être utilisées localement par les agriculteurs, les matières fécales sont entreposées dans des conteneurs vidés une à deux fois par an, puis compostées avec des déchets de cuisine pour être, elles aussi, « rendues au sol ». Les eaux grises sont traitées soit par un système d'évapo-transpiration à l'échelle d'une maison, soit par de petites stations de filtre plantés. Le rapport d'évaluation fait néanmoins état de dysfonctionnements, liés notamment aux coûts de maintenance, à l'inadaptation des matériels et à leurs défaillances (toilettes à séparation), mais également à la « résistance » des habitants. Une expérience à suivre...

En *France* les initiatives se sont longtemps limitées à l'échelle du foyer, notamment en milieu rural, aux sites isolés, ou encore aux festivals (plus généralement, au domaine de l'événementiel). Ce n'est que depuis quelques années qu'émergent des projets et des réalisations concrètes, notamment en milieu urbain. Ainsi, l'école privée à Saint-Germé (Gers) s'est dotée, en 2012, d'urinoirs secs et de toilettes sèches séparatives. Ce sera bientôt le cas pour un habitat collectif à Dol-de-Bretagne (Ile-et-Vilaine).

En Île-de-France, les initiatives se multiplient, mais il s'agit pour l'instant de projets pilotes, pour la plupart d'échelle modeste : un bâtiment du Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne est ainsi doté d'urinoirs secs ; le siège de l'Agence spatiale européenne (Patis) envisage de s'équiper de toilettes séparatives. Plus ambitieux, l'écoquartier en projet dans le quatorzième arrondissement de Paris (site de Saint-Vincent-de-Paul) devrait mettre en place un système de récupération à l'échelle du quartier. De manière générale, les opérateurs immobiliers sont incités à concevoir leurs projets en y intégrant la collecte séparative des urines.

Il est vrai que l'agglomération parisienne représente un potentiel très important en matière de valorisation agricole des urines. Selon le scénario prospectif que Fabien Esculier propose dans le cadre de sa thèse, l'utilisation de matières fertilisantes issues des urines conjointement à une évolution des pratiques agricoles et des régimes alimentaires laissent entrevoir la possibilité de se passer totalement d'engrais chimiques azotés pour l'alimentation de l'agglomération parisienne d'ici 2050

---

60 L'Eawag est l'Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau

61 Il faut 10 litres d'urine pour produire 1 litre d'Aurin.

62 En plus de commercialiser l'Aurin, cette entreprise est spécialisée dans le traitement décentralisé des eaux usées et dans les systèmes sanitaires sans eau ( [http://www.vuna.ch/index\\_fr.html](http://www.vuna.ch/index_fr.html) )

63 2-1049-en-susana-cs-china-erdos-eetp-2012-version-9x.pdf

avec, de surcroît, une émission de dioxyde de carbone diminuées de 500 000 tonnes par an (en tenant compte des émissions en moins liées à l'actuelle production d'engrais de synthèse et le fonctionnement des stations d'épuration), ce qui représente environ 1% des émissions totales de l'Île-de-France (Esculier, 2018).

Les auteurs de l'article intitulé *Valoriser l'azote et le phosphore des urines pour une meilleure sécurité écologique et alimentaire*<sup>64</sup> s'interrogent également sur les meilleurs « filons » à exploiter en priorité, en distinguant la production urbaine « par extension » (dont l'assainissement, nécessitant la création de nouveaux réseaux, pourrait facilement être adapté au paradigme de la séparation des excréta à la source) et « par renouvellement » (qui nécessiterait une adaptation des réseaux existants)<sup>65</sup>. En tant que région particulièrement dynamique sur le plan du développement urbain, l'Île-de-France représente un potentiel considérable : en neuf, durant les deux dernières décennies, 30 000 logements collectifs et 9 000 logements individuels sont, en moyenne, construits chaque année et, avec une moyenne de 600 000 m<sup>2</sup>/an (moins pour la période récente), l'immobilier de bureau — lieu privilégié pour le développement d'innovations — n'est pas en reste ; du côté du renouvellement (parc immobilier ancien), ce sont 5,6 millions de logements (collectifs et individuels confondus) et 54 millions de mètres carrés de bureau qui, moyennant des rénovations et réhabilitations, peuvent contribuer à une meilleure gestion du cycle de l'azote. Mais « la gestion alternative des excréta humains est aussi intéressante dans des lieux emblématiques accueillant du public (salles de spectacle, gares, etc.), et dont la fréquentation et la visibilité sont des atouts pour sensibiliser décideurs et citoyens et diffuser de tels procédés innovants. Les établissements d'enseignement sont notamment une cible prioritaire, avec leurs 2 400 000 élèves scolarisés et près de 790 000 étudiants ou apprentis en 2018. La récente dynamique autour des « tiers lieux » (plus de 600 aujourd'hui, 1 000 projetés en 2021) interpelle également les porteurs de projet. Leur vocation à être des espaces d'innovations sociales et environnementales permet d'envisager des expérimentations de techniques de séparation à la source des excréta des télétravailleurs et usagers de ces espaces. »<sup>66</sup>

Concernant les débouchés agronomiques des matières collectées, les travaux sont en cours. En 2019 a ainsi été mené (conjointement par l'INRAe et le projet OCAPI) un essai d'épandage sur une parcelle de blé panifiable du plateau de Saclay ; les résultats quant au pouvoir fertilisant des engrais à base d'urine sont très satisfaisants. Ailleurs en France, on assiste à l'émergence de filières allant également dans le sens des pratiques de recyclage en agriculture des déchets humains (en Gironde, par exemple, la start-up *TOOPI Organics* produit un engrais à base d'urine).

### 5.3.3. ...et individuelles : le « phénomène permaculturel »

Après avoir évoqué les dynamiques à l'œuvre au travers d'exemples du monde académique et d'actions collectives, changeons d'échelle pour nous intéresser aux pratiques des particuliers — cette catégorie d'acteurs qui n'a malheureusement pas pu être étudiée sur le site d'Est-Ensemble.

Car la pratique individuelle par des non spécialistes n'est pas à négliger, notamment compte tenu de la poussée, ces dernières années, de l'intérêt suscité par des thématiques non sans lien avec le sujet qui nous occupe : l'agriculture biologique, l'agriculture durable (ou autonome, ou économe), l'agriculture paysanne, l'agroécologie, l'agroforesterie, l'agriculture intégrée et surtout, la **permaculture**. Dans un article en ligne<sup>67</sup> sur le site de la *Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme*, toutes ces expressions font l'objet de définitions, dont nous reprenons ici uniquement celle du dernier terme cité :

*Plus qu'un modèle agricole, la permaculture se présente comme une éthique, une philosophie et une science. Elle regroupe un ensemble de méthodes culturelles qui permettent de maintenir la fertilité naturelle du sol, sans recours aux produits phytosanitaires. Dans une exploitation de permaculture on retrouve une grande diversité de productions, l'espace est optimisé et le recours à la mécanisation fortement réduit. Par exemple, associer les cultures de tomates, oignons, choux pommés et carottes, permet une occupation optimale du sol et de repousser les nuisibles susceptibles de s'attaquer à l'une des espèces. La permaculture s'est donc orientée vers la recherche de la mise en place d'agroécosystèmes productifs s'inspirant du fonctionnement des écosystèmes naturels.*

Ajoutons à cette définition que si le terme « permaculture » (de l'anglais « permanent agriculture ») est né en Australie sous la plume de Bill Mollison et David Holmgren en 1970, ces derniers n'ont fait « que » théoriser un concept agricole inspiré par

---

64 Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020

65 Les auteurs soulignent l'importance d'une évolution de l'ensemble du parc — neuf et existant — pour une transition écologique rapide.

66 Pruvost-Bouvattier *et al.*, 2020, p. 4

67 <http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/agriculture-bio-permaculture-agroecologie-quelles-differences>

le modèle d'agriculture naturelle de Masanobu Fukuoka, un microbiologiste japonais qui, dans les années 1930, abandonne sa carrière de chercheur pour retourner à sa ferme natale et y développer une méthode originale d'agriculture sauvage.

A en croire la multiplication, au cours des dernières années, des pages sur la toile et du nombre de consultations dont certaines d'entre elles font l'objet, la permaculture semble susciter un véritable engouement chez un nombre croissant d'internautes. La toile devient ainsi de plus en plus le théâtre foisonnant d'une nébuleuse d'acteurs véhiculant l'information et proposant à titre gracieux de véritables formations en lignes qui, par effet boule de neige, suscitent d'autres vocations, produisant un effet de spirale ascendante autoalimentée.

Les trajectoires de ces passionnés sont extrêmement diverses, depuis le jardinier sur sa petite parcelle de quelques dizaines de mètres carrés en milieu urbain et qui se filme pour partager ses astuces dans l'art de cultiver son potager jusqu'au propriétaire d'une ferme expérimentale où sont organisés des stages et des chantiers collectifs (rencontrant souvent un très vif succès, avec de longues listes d'attente), dont les propriétaires deviennent souvent aussi auteurs d'ouvrages. Mais quel que soit le cas de figure, le partage de retours d'expériences pratiques réussies semble être un moteur puissant du succès de la permaculture auprès d'un large public.

Parmi les simples particuliers ayant abandonné leur milieu d'origine (souvent urbain) pour devenir de « nouveaux paysans », citons Perrine et Charles Hervé-Gruyer, créateurs en 2004 de la désormais très médiatisée *Ferme du Bec Hellouin* (Haute-Normandie), une expérience inédite — inspirée par les principes de la permaculture — de transformation de terres peu fertiles en oasis très productive, sans recours à la mécanisation et aux engrais de synthèse (un suivi a été assuré pendant deux ans par une équipe de recherche pour vérifier la viabilité économique de l'expérience).

Dans le même ordre d'idée (bien que le contexte soit différent, puisque l'acteur principal, Sepp Holzer, est agriculteur à l'origine<sup>68</sup>), l'in vraisemblable mutation — toujours via une approche « permaculturelle » — de quarante hectares de terre inculte et pentue (entre 1100 et 1500 m d'altitude) d'une région surnommée « la petite Sibérie autrichienne »<sup>69</sup> en une sorte de « jardin d'Eden » où poussent même des citrons, est de nature à alimenter l'engouement que suscitent de telles pratiques agricoles.

Le plus souvent, c'est donc le jardinage qui constitue le centre de gravité de toutes ces expériences individuelles. Néanmoins, dans la prolifération de pages de la « nébuleuse permaculturelle » sur la toile, on en trouve de plus en plus traitant — là encore sous forme d'expériences partagées<sup>70</sup> — de la question de l'usage des excréments humains comme fertilisant.

Nous avons choisi d'illustrer ce phénomène par un cas qui nous apparaît comme particulièrement représentatif et riche d'enseignements (dans tous les sens du terme) : il s'agit d'un entretien réalisé le 10 avril 2019<sup>71</sup> par Damien Dekarz, permaculteur amateur « à succès », avec Renaud de Looze, ingénieur de l'École polytechnique de Bruxelles et pépiniériste qui crée en 1995 la *Palmeraie des Alpes* en Isère<sup>72</sup> où, depuis 25 ans, il mène ses recherches et expériences en agronomie, notamment sur le thème de la **nutrition en boucle des écosystèmes**, souvent en lien ou en collaboration avec divers organismes, professionnels, équipes ou programmes de recherche (dont le programme OCAP<sup>73</sup> du LEESU<sup>74</sup>) ; Renaud de Looze est aussi l'auteur du récent ouvrage (2016, réédité en 2018) *L'urine - de l'or liquide au jardin*, considéré comme « le premier ouvrage argumenté consacré à l'urine, ce véritable or liquide permettant de recycler et produire dans le même temps ».

Cet exemple nous semble symptomatique par le thème abordé (produire soi-même ses fruits et légumes fertilisés par ses propres excréments), la diffusion (un permaculteur qui, pour partager avec le plus grand nombre une information qui lui tient à cœur, profite de la notoriété croissante de ses précédentes vidéos sur la toile) et surtout, le succès apparent de cet entretien auprès des internautes : près de 1 million de vues.

---

68 Surnommé « l'agriculteur rebelle d'Autriche », il est également l'auteur de plusieurs ouvrages sur la permaculture.

69 Krameterhof, dans la région de Salzburg Lungau.

70 Cette prolifération de pages sur le sujet relève pleinement (sous une forme « virtuelle ») du constat de Marine Legrand : « *Les savoirs associés au compostage des matières de toilettes sèches se sont d'abord structurés au sein d'une communauté de pratique où la transmission orale tient une place importante.* » (Legrand, à paraître).

71 <https://www.youtube.com/watch?v=4SZasMQH9yU>

72 <http://www.palmeraiedesalpes.com/>

73 OCAP (Opération de Collecte Agricole des Phytos Inutilisés) est un programme de recherche & action du laboratoire LEESU sur les systèmes alimentation/excrétion urbains et la séparation à la source des eaux usées (<https://www.leesu.fr/ocapi/>)

74 Le LEESU (Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains) est un laboratoire commun de l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil, l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée et AgroParisTech (UMR MA 102)

Nous donnons ci-après, sous forme de « grand encadré », une transcription remaniée de cet entretien. Complétée ponctuellement par quelques éléments de l'ouvrage de R. de Looze et restructurée par nos soins, elle se présente à la manière d'une succession de paragraphes dont les titres s'enchaînent selon une progression logique, ce qui permet d'en saisir l'essentiel en « mode de lecture rapide ».

*Éléments significatifs de l'entretien avec Renaud de Looze réalisé par Damien Dekarz, 10/04/2019*

### **L'urine : un engrais naturel...**

Parallèlement à ses travaux sur la production végétale et le recyclage de la biomasse (utilisée telle quelle ou en passant par le compostage ou le lombricompostage), Renaud de Looze s'intéresse à l'utilisation de l'urine en agriculture. Il découvre notamment que quand nous mangeons des végétaux et quand ils passent par notre organisme, 80% des minéraux sont recyclables dans l'urine, cette même urine qui est actuellement considérée comme un polluant, alors que c'est exactement le même produit que l'urée de synthèse, dont la fabrication est gourmande en hydrocarbures et qui est le premier engrais vendu au monde. Par ailleurs, en plus du phosphore et de l'azote (sous une forme soluble, directement assimilable par les plantes sous une quinzaine de jours), l'urine contient également du potassium, du sodium, du chlore (dont la concentration varie selon la quantité de sel présent dans notre alimentation), et nombre d'autres minéraux dont les plantes ont également besoin pour leur croissance.

### **...pouvant être utilisée, sous diverses formes par les non professionnels...**

Si l'urine permet de récupérer l'ensemble des minéraux utiles pour faire pousser les plantes, celles-ci ont également besoin de matières carbonées pour le sol (par exemple de la paille, des feuilles mortes,...), qui fait office de support (« d'assiette » contenant la nourriture, pour prendre une analogie) dont il est éventuellement possible de se passer avec la pratique de l'hydroponie. Celle-ci nécessite un degré de technicité plus poussé que la culture « dans sol »<sup>75</sup>, mais reste néanmoins praticable même par un particulier non spécialiste.

L'urine peut être utilisée au jardin sous différentes formes. A côté de solutions *high tech* débouchant sur des produits prêts à l'emploi (tel l'*Aurin*, fertilisant fabriqué en Suisse selon un procédé consistant à concentrer l'urine six fois et la passer par un filtre à charbon actif qui élimine les résidus médicamenteux, d'éventuels germes pathogènes, ainsi que les odeurs), il en est d'autres, *low tech*, accessibles à tous, comme celle de la simple dilution de l'urine dans un arrosoir à raison d'un volume pour vingt volumes d'eau (*grosso modo* une mixtion pour une demi-arrosoir de 10 litres ; une concentration plus élevée est possible, mais les travaux sur le terrain de Renaud de Looze montrent que le rapport 1/20 permet de fertiliser sans « mettre trop de pression » sur la plante qui, pour des concentrations trop fortes en sels, a tendance à se dessécher) pour une utilisation directe au pied des cultures. Un arrosage tous les quinze jours avec cette solution suffit à satisfaire les besoins de la plante en sels minéraux (azote, phosphore, potassium, magnésium, calcium, soufre, fer, chlore, etc, tous présents dans l'urine). Cela étant, les variantes sont nombreuses : celle qui vient d'être évoquée correspond à ce qu'il convient d'appeler une fertilisation d'entretien ; mais les besoins en engrais étant nettement supérieurs au printemps, Renaud de Looze conseille une fertilisation printanière moyennant 1 à 3 litres au m<sup>2</sup> (volume cumulé d'urine pure à utiliser — sous forme diluée — durant cette période), ce qui correspond très exactement, en termes d'apports de sels minéraux, aux 100 à 300 g/m<sup>2</sup> préconisés par les fabricants d'engrais organiques vendus dans le commerce.

### **...grâce à l'alliance des « trois ors »...**

A l'exception du cas particulier de l'hydroponie, cet « **or liquide** » qu'est l'urine doit être complétée par « **l'or bleu** » et « **l'or noir** » (respectivement l'eau et le compost, selon les termes utilisés par Renaud de Looze) : le sol doit en effet avoir été préalablement amendé en compost ou en fumier (fumier composté ou pas composté ; les deux fonctionnent, en sachant que le fumier non composté n'est pas « immédiatement bon » pour les plantes : il faut attendre qu'il mûrisse dans le sol). Moyennant cet apport, complété par d'autres matières carbonées (paille, branches d'élagage fragmentées, feuilles mortes,... — « sous-produits » sur place), le sol sera vivant et propice aux cultures, car comportant, en plus des sels minéraux, suffisamment de matière organique (dont se nourrit la « vie du sol » : champignons, bactéries, microfaune) et d'humidité (pas de vie sans eau).

### **...individuellement ou collectivement...**

---

75 C'est à dessein que nous utilisons ici cette expression — par opposition au « hors sol » — plutôt que de parler de « culture traditionnelle », car les pratiques hors sol ne sont pas moins traditionnelles et anciennes, depuis les jardins suspendus de la reine de Babylone Sémiramis jusqu'aux potagers à la surface du lac Titicaca de certains peuples péruviens.

Pour son propre jardin, il est simple d'utiliser l'urine fraîche diluée, à épandre immédiatement au jardin (ainsi, pas d'odeurs, pas de moustiques, pas de mouches) ; pour un potager collectif, un stockage de l'urine dans un bidon fermé durant un mois est préférable, car ce procédé simple élimine d'éventuels germes infectieux.

### ...sans polluer...

A la question du risque de pollution par les urines, R. de Looze répond qu'il est quasi inexistant, car ce n'est qu'une question de dosage. Pour donner un ordre de grandeur, la norme en agriculture bio est ne pas dépasser 17 grammes d'azote par mètre carré et par an. Un litre d'urine contenant 6 g d'azote, avec une quantité annuelle cumulée d'urine inférieure à 3 litres par mètre carré, la norme est respectée. En réalité, on pourrait sans doute aller jusqu'à 10 litres par mètre carré et par an sans polluer, à condition de s'assurer que l'azote est assimilé au fur et à mesure par les plantes ; mais cette pratique, qui demande une gestion très rigoureuse, est à réserver aux jardiniers expérimentés pouvant consacrer beaucoup de temps à leurs cultures (« *on plante, on verse l'urine, on récolte, on replante, etc ; on est hyperproductif, mais c'est du job !* »).

### ...sans risque de résidus médicamenteux ou de pathogènes...

Pour répondre à la question des risques de résidus médicamenteux, R. de Looze se réfère aux travaux (auxquels il a participé) des chercheurs suisses de l'institut *Eawag* de Zürich, qui ont étudié non seulement les urines récupérées auprès de populations consommatrices de divers produits (femmes prenant la pilule, personnes sous anti-inflammatoires ou antibiotiques,...), mais également sur des urines auxquelles des résidus médicamenteux ont été artificiellement ajoutés. Ils se sont rendus compte que par le procédé naturel de dégradation de l'urine, environ 90% des résidus médicamenteux étaient, eux aussi, dégradés, et que les 10 % restants pouvaient être éliminés par un filtre à charbon actif. Il est intéressant de noter que dans la nature, le **compost mûr se comporte comme du charbon actif**. Donc si, avant d'arroser à l'urine diluée, on prend soin d'amender le sol par du compost mûr, ce dernier fera office de charbon actif et dégradera les 10% de résidus médicamenteux qui n'auront pas été neutralisés par la dégradation naturelle de l'urine. Ce que font les chercheurs de l'institut *Eawag* « hors sol » en *high tech*, il est possible de le faire « dans le sol » en *low tech*. Le résultat est le même. Simplement, ils le font plus vite, car ils contrôlent tous les paramètres (exactement à la bonne température, par exemple) : « ce que eux feront en 24 heures, les jardiniers le feront en une semaine à quinze jours ».

Quant à la question des pathogènes, elle ne concerne pas (sauf cas très rare) les urines. Pour les pratiques d'utilisation directe de cette dernière, il est primordial que les deux types d'excreta soient séparés à la source. De toute façon, les plantes aiment l'urine, pas les matières fécales ; ces dernières sont en revanche très appréciées des bactéries et des animaux du sol (par exemple les vers de terre), qui s'en nourrissent et relâchent — donc mettent à disposition — des minéraux pour les plantes, mais en moindres quantités que l'urine (les urines contiennent 80% des minéraux que notre organisme élimine, les matières fécales seulement 20%).

Ce qu'il faut donc retenir, c'est qu'alors que l'urine est un pur engrais naturel pour plantes, les matières fécales sont une des matières premières du compost. Les deux se complètent : la première nourrit directement les plantes, le second nourrit la vie du sol et, lorsqu'il est « mûr » (stabilisé), fait office de « filtre à charbon actif » pour éliminer les résidus médicamenteux. Pour reprendre la formule de R. de Looze : les matières instables (urines), c'est pour la fertilisation ; les matières stables (compost mûr pouvant être produit à partir des matières fécales), c'est pour l'amendement des sols.

### ...sans odeurs...

A la question des odeurs, R. de Looze répond du tac au tac que « ça pue horriblement ! »... pour proposer dans la foulée plusieurs solutions *low tech* simples.

La première, en lien avec la question des résidus médicamenteux, consiste à utiliser du compost mûr tamisé : dans un premier temps, l'urine est versée dans une « vessie » en plastique souple (du type de celles dans lesquelles est parfois vendu le vin), ce qui a pour effet de bloquer le phénomène d'oxydation, à l'origine des odeurs ; au moment de vouloir utiliser cette urine, il suffit d'ouvrir le robinet pour la laisser couler directement dans le compost qui, à l'instar du filtre à charbon actif, bloque toutes les odeurs. Une variante de ce procédé consiste à verser l'urine dans un réceptacle ouvert et la recouvrir d'une couche de compost (20 litres de compost pour 1 litre d'urine) ; ce dernier « s'imprègne comme un sucre », on laisse reposer pendant une semaine à quinze jours et on obtient un produit qui ne sent rien, et qui est enrichi en minéraux (cela fonctionne aussi avec du terreau). Certains utilisent, à cette fin, de la paille ; mais la paille n'étant pas un produit stabilisé, elle va se dégrader, et donc sentir mauvais.

Une autre solution (toujours *low tech*), suggérée par certains chercheurs travaillant dans le cadre du programme OCAP, consiste à stabiliser l'urine par du vinaigre. Renaud de Looze l'a testée : une cuillère à soupe de vinaigre suffit à stabiliser un litre d'urine *fraîche* (très important) en faisant baisser son pH. Au moment de l'utiliser, quand on la verse sur le sol (diluée au préalable), elle reprend son cycle de dégradation normale.

Il existe aussi une technique consistant à verser l'urine dans la cendre de bois, ce qui augmente son pH et la stabilise ; c'est une bonne solution dans les sols qui manquent de calcium (la cendre contient du calcium et du potassium, nécessaires aux plantes).

Donc deux techniques « symétriques » très simples pour stabiliser l'urine et éviter les odeurs : en abaissant le pH ou en augmentant le pH.

### **...sans dommages pour les sols...**

La question de la destruction des sols et des « plantes brûlées » par les urines trouve également sa réponse, dans la célèbre citation de Paracelse : « *tout est poison, rien n'est poison : c'est la dose qui fait le poison* ». Tout est effectivement une affaire de dosage : 20 litres d'urine versés d'un coup à un endroit auront l'effet d'un désherbant puissant ; mais cette même urine diluée et versée à raison de 1 à 3 litres par mètre carré et par an (voire même par trimestre) sur un sol humide sera bénéfique aux plantes ; c'est l'un des résultats des expériences de R. de Looze au cours des vingt dernières années.

### **... et permettant de recycler excréments et déchets...**

Par ses travaux sur le thème du recyclage de nos déchets (en lien avec l'autonomie alimentaire — un autre de ses thèmes privilégiés), Renaud de Looze montre qu'en moyenne, sous nos latitudes et nos climats, le recyclage de la biomasse produite par un mètre carré de sol vivant permet la production de la même quantité de biomasse l'année suivante sur ce même mètre carré, en une boucle sans fin qui intègre les besoins (nourriture et excréta) de l'être humain.

On peut dire les choses autrement par l'équation «  $1 + 1 = 1 + 1$  » : 1 litre d'or liquide (urine) + 1 litre d'or noir (compost) permettent de produire 1 kg de récolte utile (nourriture) + 1 kg de résidus végétaux recyclables. A condition d'injecter dans cette équation une quantité suffisante de cet or bleu qu'est l'eau (ce qui ne pose, pour l'instant, pas de problèmes insurmontables sous nos climats), le processus fonctionne en boucle reproductible d'une année sur l'autre, la récolte utile (nourriture) et les résidus végétaux redevenant (si correctement gérés) à nouveau or liquide et or noir.

En dépit de son caractère trivial et simplificateur à l'extrême (toutes les plantes n'ont pas les mêmes besoins ni la même productivité par unité de surface, toutes les parcelles ne bénéficient pas des mêmes conditions climatiques, etc), cette vision présente l'intérêt d'attirer l'attention de manière lapidaire sur le potentiel d'autonomie alimentaire d'une activité agricole reposant sur un recyclage bien maîtrisé des excréta humains.

### **... pour produire une nourriture saine et tendre vers l'autonomie alimentaire...**

Dans ses travaux — en plus de détailler les besoins (et donc la « capacité à recycler les excréta ») d'une grande variété de plantes potagères, les précautions à prendre, les dosages, etc... —, Renaud de Looze se livre à un exercice de quantification non seulement de la « production » annuelle d'une personne en termes d'or noir et d'or liquide (quantification intégrant, outre les fèces et l'urine, les déchets de cuisine, les déchets verts du jardin, les résidus de récolte, etc), mais également de la surface nécessaire à l'autonomie alimentaire dans l'hypothèse d'un régime végétarien (mais pas végétalien) équilibré<sup>76</sup> et consensuel, élaboré par ses soins. Afin d'éviter toute carence (protéines, calcium, vitamines B12, etc), ce régime comporte des œufs (en plus de céréales, d'oléagineux et d'une grande variété de légumes et de fruits, pour un total de 2000 kcal par jour), mais pas de produits carnés, par souci d'économie d'espace dont l'élevage est particulièrement gourmand. Certes, une poule pondeuse mobilise 40 m<sup>2</sup> pour la production de sa nourriture et le recyclage de ses déjections ; mais ses œufs apportant des compléments de nutriments indispensables par rapport aux seuls végétaux, son élevage fait partie du système alimentation/excrétion proposé, d'autant plus qu'il entre en symbiose avec le verger : pour la poule, les arbres fruitiers sont un refuge (elle peut dormir dans les arbres), une protection contre les rapaces et une source de nourriture (elle consomme les fruits avariés) ; en retour, elle déparasite les sols (en éliminant notamment les « vers blancs » — nom générique de diverses larves de coléoptères très nuisibles pour les arbres et arbustes fruitiers) qu'elle enrichit par ses déjections.

### **... sur une surface cultivée réduite...**

Les résultats de ces quantifications sont remarquables :

— d'un côté, 1 m<sup>2</sup> de cultures accepte annuellement, sans le moindre impact nuisible environnemental, les 1,5 litre d'urine et 0,15 kg de fèces<sup>77</sup> produits quotidiennement par une personne (valeurs moyennes et arrondies), ce qui signifie que la surface nécessaire de sol vivant pour recycler les excréta annuels de cette personne est de 365 mètres carrés ;

---

<sup>76</sup> « *Que ta nourriture soit ton médicament et ton médicament ta nourriture.* » (Hippocrate)

<sup>77</sup> ces dernières devant passer par l'étape de compostage (cf. **annexe 1**) avant de pouvoir être utilisées.



— de l'autre, la surface de culture requise pour nourrir une personne (avec le régime alimentaire « équilibré et consensuel » proposé) est de... 370 mètres carrés<sup>78</sup>. Autant dire que l'équilibre entre « gisement » et « valorisation » des ors liquide et noir semble parfait (c'est de ces calculs qu'est issue la fameuse équation « 1+1 = 1+1 » évoquée plus haut ; il est à noter que dans le « 1 litre d'or noir » — soit environ 0,5 kg — de cette équation, les 150 grammes de fèces quotidiennes ne représentent qu'environ un tiers de la matière nécessaire pour produire ce fameux litre ; les deux tiers restants sont des matières végétales diverses produite localement : résidus de récoltes, déchets de cuisine, broyats d'élagages, etc<sup>79</sup>).

Au final, en tenant compte des surfaces résiduelles et utilitaires (chemins d'accès, allées, entreposage,...), Renaud de Looze arrondit à **500 m<sup>2</sup>** la surface permettant à la fois de nourrir une personne et de recycler en totalité (et sans dommages environnementaux) ses excréta annuels.

### ... voire très réduite.

Selon Jan-Olof Drangert, chercheur au département « Traitement de l'eau et environnement » de l'université de Linköping en Suède (De Looze, 2018, p. 112), il est possible de recycler les 500 litres d'urine produits par une personne sur seulement 50 m<sup>2</sup> (soit 10 litres/m<sup>2</sup>), sans polluer ou détruire les sols ni brûler les plantes. Cette culture très intensive, qui permet d'atteindre des récoltes annuelles de fruits et légumes de 5 à 10 kg par mètre carré, requiert néanmoins une réelle expérience, une connaissance précise des besoins en nutriments des espèces et variétés cultivées, un matériel approprié (serre tunnel, voiles de forçage,...), un timing très précis (puisque les cultures s'enchaînent tous les 4, voire 3 mois selon un programme savamment élaboré — on enfouit les résidus, on réamende en compost et on recultive dans la foulée), une très grande rigueur, de la compétence pour calculer les apports, une capacité à être préventif et, compte tenu de la densité, une vigilance permanente pour surveiller l'arrivée des « nuisibles », des maladies et des adventices (« mauvaises herbes »). Moyennant tout cela, une culture permanente très intensive de 50 m<sup>2</sup> (à comparer aux 500 m<sup>2</sup> cultivés de manière extensive par un non spécialiste) pourrait sans doute, sous certaines conditions, suffire à nourrir une personne tout en recyclant ses déchets.

C'est au détriment de la concision que nous avons retenu l'option de ce « grand encadré », car elle permet d'illustrer précisément la **nature du contenu** (assez technique et s'adressant de toute évidence à un public de particuliers, jardiniers amateurs) **qui semble susciter un tel intérêt chez les internautes**. Certes, le seul nombre de vues, sans autre indication, n'est sans doute pas l'indicateur idéal pour évaluer la propension d'une population à se former à des techniques dans l'intention de les mettre en œuvre (par exemple, cet indicateur ne permet pas de distinguer la part d'internautes ayant visionné l'entretien dans son intégralité de celle des visiteurs « accidentels » s'étant contentés d'un simple coup d'œil). Néanmoins, il nous semble que même en l'absence d'informations plus fines, un **nombre de vues avoisinant le million est suffisamment élevé pour témoigner de l'existence d'un phénomène collectif : celui d'une manifestation d'intérêt massive chez les particuliers pour la thématique de l'utilisation des excréments au jardin dans une logique « permaculturelle »**.

La retranscription intégrale nous a par ailleurs semblée pertinente dans la mesure où cet entretien aborde de manière très directe la question de la circularité du système alimentation/excrétion selon une approche *low tech*, c'est-à-dire faisant appel à des techniques pouvant être mises en œuvre par le plus grand nombre et utilisables même sur des petites surfaces, donc en milieu urbain.

Le grand mérite de Renaud de Looze est que de ses expériences des vingt dernières années, il déduit toute une gamme de procédés, les plus simples (qui sont aussi les plus extensifs) ne requérant qu'un arrosoir et quelques précautions simples à retenir, qu'il présente sous forme de guide pratique accessible à tous types de publics<sup>80</sup>.

Evidemment, les résultats quant au fonctionnement « en circuit fermé » du modèle proposé sont sans doute sujets à controverse. Par exemple, quel est le rôle de l'environnement (plus ou moins) immédiat des parcelles où sont menées les expériences ? Certains permaculteurs admettent que les productivités élevées dont ils peuvent se prévaloir sans recourir aux

---

78 Selon l'auteur, cette surface peut d'ailleurs être diminuée très significativement si les 150 m<sup>2</sup> prévus pour la culture de céréales sont alloués à celle de la pomme de terre aux rendements énergétiques par mètre carré bien supérieurs (De Looze, 2018, p. 107).

79 Bien que 80% des minéraux éliminés par l'organisme soient présents dans « l'or liquide », de surcroît sous une forme directement assimilable par les plantes, « l'or noir » n'est pas à négliger en tant que source de minéraux car en plus des 20% restants que contiennent fèces, il permet également de recycler ceux des matières végétales (tous les « déchets » végétaux produits localement mais non consommés par l'homme : fanes, feuilles mortes, paille, foin,...) qui constituent l'essentiel de sa masse et qui, de plus, contribuent à maintenir vivants les sols en favorisant un bon équilibre carbone/azote.

80 L'auteur de ces lignes s'est d'ailleurs essayé avec succès à ces pratiques.

produits chimiques (pesticides, herbicides, engrais synthétiques, etc) pourraient être dûs en partie au voisinage d'écosystèmes « naturels » et aux multiples interactions avec ces derniers (réseaux mycorhiziens souterrains, microfaune des sols, prédateurs de « nuisibles », matière carbonée des feuilles mortes apportées par le vent, etc). Plus généralement, il conviendrait de s'interroger si une parcelle cultivée de 1000 m<sup>2</sup> en ville aurait le même rendement que cette même parcelle au milieu d'une forêt d'un hectare<sup>81</sup>. Cela n'enlève cependant rien à l'intérêt de tels travaux, ni à celui de les élargir à d'autres terrains d'expérimentations, notamment en milieu urbain. D'ailleurs, les jardiniers-maraîchers parisiens du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>82</sup> n'ont-ils pas repoussé les limites de l'art de l'agriculture en ville pour atteindre des rendements record et des niveaux de perfection dans leur pratique du recyclage provoquant l'admiration de leurs contemporains (les maraîchers londoniens venaient spécialement à Paris pour s'instruire) ? Il est vrai qu'ils avaient à disposition un gisement inépuisable du sous-produit de la traction hippomobile des transports urbains de l'époque ; mais précisément, ce gisement n'est-il pas à rechercher aujourd'hui du côté des sous-produits des habitants eux-mêmes ?

### 5.3.4. Mais alors, où est-ce que « ça coince » ?

A maints égards, les paragraphes précédents semblent dresser un tableau plutôt favorable quant à la faisabilité et l'avenir de la pratique du recyclage des excreta par l'agriculture urbaine : techniques éprouvées, offre variée de dispositifs performants, intérêt croissant de différentes catégories d'acteurs, contexte global favorable avec une prise de conscience collective des enjeux et défis posés par nos modes de vie, initiatives concrètes de différentes catégories d'acteurs à différentes échelles territoriales.

Pourtant, ce contexte apparemment favorable ne doit pas occulter un certain nombre de freins. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous pouvons en soulever quelques uns.

A côté des blocages culturels et d'un cadre administratif encore inadapté, certains obstacles législatifs méritent d'être mentionnés, tel le statut juridique de l'urine, comme l'illustre le passage qui suit, (issu d'un rapport de recherche<sup>83</sup> réalisé dans le cadre du programme OCAPI et cité dans De Looze, 2018, p. 33) :

« Juridiquement l'urine doit aujourd'hui être considérée comme un déchet. Aux termes de l'article L. 541-1-1 du code de l'environnement, un déchet est *toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire*. Cette notion et toutes les garanties qui y sont attachées ont été fondées juridiquement dans l'objectif de prévenir les atteintes à la santé publique et à l'environnement. Le statut juridique de déchet issu du code de l'environnement permet d'appliquer les principes qui y sont associés : principe pollueur payeur, principe de prévention, principe de responsabilité élargie du producteur, principe de proximité et traçabilité. Néanmoins, le statut de déchet peut être un **frein**, notamment économique et juridique, à la **valorisation de substances telles que les urines** qui pourraient constituer des ressources *in fine*. [...] La classification en produit apparaît intéressante. La notion de produit relève du code de la consommation. Un **produit peut être commercialisé et utilisé librement sans demande d'autorisation**, contrairement au déchet. Dans le cas de l'urine, le statut de produit permettrait de la vendre au même titre que tous les engrais industriels et d'éviter la mise en place d'un plan d'épandage par le fournisseur et sous sa responsabilité.

---

81 La réponse à cette question est d'ailleurs loin d'être consensuelle : si, de prime abord, l'impact des externalités positives que procure la proximité d'écosystèmes « naturels » apparaît comme un argument imparable, comment expliquer que Masanobu Fukuoka (ce chercheur japonais en microbiologie qui, dans les années 1930, démissionne de son poste pour se retirer dans la ferme familiale où il passe le reste de sa vie à expérimenter les techniques « naturelles » qui l'amèneront à publier, en 1975, son fameux ouvrage *La révolution d'un seul brin de paille*, faisant de lui l'un des fondateurs mondialement reconnus de la « permaculture ») ait pu maintenir, jusqu'à sa mort en 2008, les impressionnants rendements de sa ferme, pourtant progressivement « rattrapée » par l'urbanisation galopante ? Il en est de même, par exemple, pour les très productifs micro-jardins du type de ceux de Joseph Chauffrey, avec sa production annuelle de 300 kg de légumes (en plus des fruits) sur 150 m<sup>2</sup> (Chauffrey, 2017) ou de la « jungle urbaine » des Fraternités Ouvrières à Mouscron (Dubrulle, 2018), deux exemples « d'îlots de verdure » enchâssés dans un environnement urbain dense.

82 Cf. à ce sujet l'ouvrage de Perrine et Charles Hervé-Gruyer, *Permaculture : guérir la terre, nourrir les hommes*, notamment pp. 137-144.

83 Crolais, A., Lebihain, M., Le Gal, A., Maysonnave, E. (2016). *L'or liquide, l'innovation sociotechnique en assainissement par la mise en synergie d'acteurs locaux : le cas de la collecte sélective des urines sur le plateau de Saclay*, Rapport du groupe d'analyse de l'action publique,, Mastère politique et action publique pour le développement durable, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

La directive cadre déchets 2008/08/CE du 19 novembre 2008 permet d'envisager la sortie du statut de déchet d'une substance sous conditions [...]. En pratique, pour qu'un déchet perde cette qualification et devienne un produit, il doit avoir subi une opération de valorisation le rendant utilisable sans danger pour la santé humaine et l'environnement. [...]

D'un point de vue purement technique, l'urine semble pouvoir répondre aux exigences liées à la qualification de produit notamment au regard des éléments présentés dans le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatif à l'utilisation sans risque des excréta, aujourd'hui seul encadrement international sur la réutilisation de l'urine. Ce rapport indique que le stockage des urines [...] pourrait [...] constituer une opération de valorisation permettant à l'urine d'acquérir un statut de produit.

[...] Ainsi, les **démarches pourraient être menées pour modifier le statut de l'urine pour faire passer la substance de déchet à produit et ainsi faciliter sa valorisation.** »

Le travail reste néanmoins à faire...

D'autres facteurs bloquants, moins apparents de prime abord et moins intuitifs, peuvent être signalés, comme l'absence d'une véritable « prise au sérieux » de telles pratiques par les acteurs urbains. C'est en tout cas l'une des conclusions de la thèse d'Elisabeth Lehec portant sur le compostage en pied d'immeuble à Paris (Lehec, 2018) : si le processus technique s'avère efficace d'un point de vue matériel, il relève plus d'un nouveau loisir urbain que d'un dispositif de gestion des déchets ; les habitants ne cherchent donc pas particulièrement l'efficacité technique du processus. Outil de communication pour les institutions, loisir pour les habitants, le compostage de proximité n'est une technique de gestion des déchets pour aucun des acteurs, de sorte que ce type de dispositif renforce, plus qu'il ne le remet en cause, le grand réseau technique traditionnel comme modèle unique de fourniture des services urbains que les institutions cherchent à transformer.

### 5.3.5. Conclusion

Dans un contexte caractérisé par la coexistence de dynamiques possiblement annonciatrices d'une révolution du statut des excréta et d'obstacles s'opposant à ces mêmes dynamiques, il est légitime pour l'aménageur de s'interroger sur le rôle que peut jouer l'agencement des espaces urbains en tant que frein ou moteur potentiel au recyclage des excréments par l'agriculture de proximité. En particulier, quels rapports entre aires bâties et aires non bâties pourraient être adaptés à de telles pratiques, selon quelles répartitions, à quelles échelles ? Dit autrement : à quoi pourraient ressembler les « prérequis spatiaux » aux diverses solutions techniques de la circularité du système alimentation/excrétion pour aider à leur acceptabilité et à leur mise en œuvre ?

C'est sur cette question, relevant de la « forme urbaine », que nous proposons d'apporter quelques éléments de réflexion à la section suivante.

## 5.4. Recycler (plus ou moins) localement les excréta en ville : un défi pour les formes urbaines

### 5.4.1. Anticiper le verrou spatial

L'un des enseignements de la section 1 est la grande variété des techniques de valorisation des excréta, chaque technique ou type de traitement possédant ses avantages et ses inconvénients qui s'accompagnent de certaines contraintes. Or parmi ces contraintes, certaines relèvent d'exigences de nature spatiale : surface requise, densité, distances, répartition, maillage, ... autant de notions non sans lien avec ce que aménagés, architectes ou géographes désignent parfois par l'expression « forme urbaine » — une expression à manier avec circonspection, tant elle est à la fois polymorphique et polysémique (Levy, 2005) et tant elle fait l'objet de nombreux débats<sup>84</sup> — , mais que nous utilisons néanmoins en raison de son caractère

---

84 Géographes, historiens, architectes, urbanistes ou archéologues ne lui donnent pas forcément la même signification ; de plus, au sein d'un même discipline, son étude — la morphologie urbaine — a suscité des débats passionnés, donnant naissance à différentes écoles, notamment italienne (S. Muratori, G. Caniggia,...), anglosaxonne (P. Hall, L. Mumford, J. Vance,...) et française (J. Castex, D. Mangin, Ph. Panerai,...). L'école dite « morphogénétique » de Ch. Alexander et N. Salingaros, développant des approches qui reposent, en particulier, sur l'analogie entre croissance cellulaire et développement urbain, ou encore les travaux réalisés par M. Batty (Center for Advanced Spatial Analysis) et S. Salat (Institut des Morphologies Urbaines), méritent également d'être signalés, sans oublier les « grands classiques » des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (C. Sitté, I. Calvino,...) qui ont grandement contribué à l'enrichissement de la notion de forme urbaine.

expressif en lui donnant ici le sens (intuitif et assez vague) d'agencement spatial des infrastructures bâties et des aires non bâties, au sens large, incluant notamment les infrastructures de transport.

La section 2, quant à elle, met en exergue l'intérêt manifesté par différents acteurs de certains territoires — dont celui d'Est-Ensemble — à l'égard de cette question du recyclage des excreta par l'agriculture urbaine. Cet intérêt donne lieu, ici et là, à des initiatives (ou débuts d'initiatives) se concrétisant par des expériences et des pratiques allant dans ce sens, à différentes échelles et selon des modalités très diverses. Ces expériences demeurent néanmoins plutôt rares (quasi inexistantes à Est-Ensemble), de sorte que la conclusion du travail de terrain réalisé dans le cadre de cette étude ne saurait dépasser de beaucoup le constat d'une « forte motivation ». Comment transformer cette motivation en actes ? Les propos recueillis au cours de l'enquête à Est-Ensemble donnent des pistes : créer ou accentuer les liens entre les différentes catégories d'acteurs (c'est ce à quoi s'attache déjà le LAB3S) sur le territoire (associations, collectivités, entreprises, recherche, particuliers,... et sans doute bien d'autres), les mettre « en réseau » (élargi à toute l'Ile-de-France, voire au-delà) pour favoriser les synergies et les expressions d'offres et de demandes complémentaires, œuvrer en faveur de changements législatifs et règlementaires (par exemple, modification du statut de l'urine), informer sur les pratiques de recyclage local des excréments (le sujet est encore tabou), multiplier les « démonstrateurs » depuis l'échelon individuel (le foisonnement de modèles de toilettes sèches et la variété des réponses techniques permet de répondre à tous les goûts) jusqu'aux expériences à l'échelle d'un quartier (menées, à ce jour, surtout à l'étranger), encourager les expérimentateurs individuels (vraisemblablement « semi clandestins » par peur du « qu'en diraient les voisins ») pour partager leurs expériences (pratiques privées),... autant d'actions, parmi d'autres, à proposer pour accélérer un phénomène émergent et enclencher une multiplication de concrétisations sur le terrain, potentiellement à l'origine de phénomènes de mimétismes (ce qui présuppose nécessairement d'élargir l'échelle des investigations pour « voir ce qui se passe ailleurs »), de partage d'expérience et d'apprentissage, de prise de conscience, de changements dans la manière de considérer les excreta. De cette spirale vertueuse, dopée par les résultats probants d'expérimentations réussies, peut émerger une demande à l'intention des élus en vue de modifier un cadre législatif souvent encore inadapté.

Indépendamment de cette réflexion, la motivation constatée sur le terrain (à Est-Ensemble et ailleurs) correspond sans doute à une demande latente de « conditions favorables » pour que les initiatives déjà engagées — encore rares mais caractérisées d'ores et déjà par une grande diversité — puissent se développer.

Face à une demande potentiellement aussi variée, il est impossible d'ériger en vérité une réponse unique. Une telle approche serait d'autant moins pertinente que, comme nous l'apprennent certaines des expériences de terrain décrites à la section 2, non seulement les objectifs visés et les capacités avérées ne sont pas les mêmes pour toutes les solutions disponibles, non seulement ils varient en fonction des lieux, mais ils se modifient en plus dans le temps. Par exemple, dans l'expérience menée à Bielefeld (cf. paragraphe 2.2), « *tous les résidents étaient motivés au départ par des toilettes sans séparation fonctionnant avec la gravité. Des filtres plantés devaient également être mis en place. Après dix années d'utilisation un tiers des utilisateurs souhaitaient installer des toilettes à chasse et se raccorder au tout-à-l'égout. Pour ce tiers, une option intermédiaire ou plus légère aurait sans doute été préférable. Pour les autres, l'option choisie au départ était bien celle qui leur convenait.* »<sup>85</sup> Cet exemple illustre le danger des certitudes à propos de « ce qu'il faut faire et comment ». La solution la plus adaptée n'est pas forcément telle ou telle ; elle peut être parfois « les deux à la fois » ; ou même une autre option.

Chacun des nombreux projets alternatifs, dont quelques uns ont été évoqués à la section 2, se veut « durable » ; tous partagent donc certains objectifs, sans pour autant que les moyens mis en œuvre pour les atteindre soient les mêmes. Parmi les objectifs consensuels figurent en bonne place la réduction des quantités d'eau utilisées, la mise en place d'une gestion décentralisée ou semi-décentralisée (avec traitement adapté pour chaque élément — excréments, eaux grises, eaux de pluie), la performance au niveau de l'hygiène et la prise en compte des conditions locales ainsi que les choix des habitants. Les stratégies, les possibilités, les coûts ne seront pas les mêmes selon les caractéristiques du quartier, de sa « place » dans l'agglomération, du type de bâti (l'approche ne peut pas être la même pour une maison avec jardin susceptible d'accueillir une installation autonome que pour un immeuble à quinze étages pour lequel une solution globale doit être trouvée). Par ailleurs, pour passer de quelques réalisations individuelles à des systèmes à grande échelle, l'implication des institutions et des élus, ainsi qu'une réelle acceptation des nouvelles pratiques par la population, sont incontournables.

Soyons outrageusement optimistes au point d'affirmer que les indices mis en évidence à la section 2 permettent de conclure que toutes les conditions sont réunies pour que « la ville » décide la mise en place d'un système d'assainissement fondé sur la « circularité » (telle que la définit Fabien Esculier dans sa thèse). Dans ce scénario, « *des visites sont prévues pour les élus et les habitants, afin qu'ils voient des réalisations en fonctionnement. Des réunions sont organisées dans les quartiers. Un*

---

85 Elain, 2007, p. 168

*projet est élaboré puis adopté. On en prévoit les financements et la promotion, des formations près des collectivités locales, des artisans volontaires, des équipes chargées de l'entretien, et bien entendu, des utilisateurs. On aménage alors en conséquence les sous-sols, pour les urines on prévoit des tanks de stockage (par immeuble, quartier, lotissement), des aires de compostage ; pour les eaux grises, des zones d'épuration par les plantes. On planifie et organise les collectes, des suivis sanitaires... On évalue les utilisations locales possibles des fertilisants obtenus (jardins, parterres de fleurs) et on implique dès le départ les horticulteurs, les sociétés d'espaces verts et les agriculteurs afin qu'ils soient désireux d'utiliser ces éléments récupérés (pour ne pas se retrouver avec un problème identique aux boues d'épuration dont on ne sait plus que faire). Bien sûr, des zones agricoles ont été conservées en périphérie de la ville. »<sup>86</sup>*

Dans les faits, ce scénario se heurterait à de nombreux obstacles. A côté des inévitables jeux d'intérêts divergents de diverse coteries, des limites humaines et législatives, de l'inertie des structures administratives, etc..., la « structure physique » (**forme urbaine**) de la ville pourrait également s'avérer être un verrou d'autant plus délicat à faire sauter que les changements sur ce registre relèvent des temporalités longues. Dans le cadre d'une vision prospective, il est donc pertinent de s'interroger très en amont sur le potentiel des territoires — plus particulièrement celui d'Est-Ensemble — à offrir non seulement des surfaces suffisantes, mais également des configurations spatiales suffisamment diversifiées et suffisamment évolutives pour permettre d'accueillir dans les meilleures conditions le maximum d'initiatives et expériences (en tenant compte, de surcroît, de leur caractère potentiellement fluctuant) allant dans le sens d'une agriculture à différents degrés de proximité et fondée sur une fertilisation des sols par les diverses formes de traitement des excréta, en vue de tendre, par des pratiques à différentes échelles, vers un minimum de gaspillage d'eau et de dépendance aux ressources non renouvelable et un maximum d'autonomie alimentaire.

#### 5.4.2. Quantifier les besoins

Afin de confronter cet ambitieux objectif à quelques données géographiques « basiques » de ce territoire, et en dépit du caractère utopique de l'exercice (mais le fait de ne pas être en mesure d'atteindre un objectif considéré comme souhaitable doit-il nous empêcher de tenter quelques pas vers lui ?), commençons par une rapide quantification en appliquant à Est-Ensemble, moyennant quelques hypothèses de travail très simples, certains des chiffres que propose Renaud de Looze dans son ouvrage<sup>87</sup>.

Pour rappel : s'il est exploité de manière « extensive » (donc mettant en œuvre des techniques accessibles au néophyte amateur), un hectare peut recycler en nourriture l'intégralité des excréta (utilisés pour l'amendement des sols et la fertilisation des plantes) de 20 personnes ; mais ce nombre peut sans doute être multiplié par 10 en cas d'exploitation « très intensive » (De Looze, 2018, p. 112).

En supposant « souhaitable » l'objectif d'autonomie *via* la circularité, ce dernier pourrait théoriquement être atteint sur les 4000 hectares du territoire d'Est-Ensemble si 50% de cette surface étaient exclusivement consacrés au recyclage des excréta de ses 400 000 habitants par l'agriculture vivrière de proximité selon la pratique « très intensive » évoquée plus haut, nécessitant une solide expérience, un réel savoir-faire, une grande rigueur et un nombre conséquent d'heures de travail. Aussi irréaliste que semble être une telle éventualité, rappelons qu'il fut un temps où ces chiffres n'auraient guère paru choquants : « *En 1845, les cultures vivrières dans l'enceinte de Paris couvraient 1378 hectares, divisés en 1800 jardins – chaque jardin mesurait donc environ 7650 mètres carrés. Ils employaient 9000 personnes, soit 5 personnes en moyenne par jardin [...]. Le travail de ces 9000 jardiniers-maraîchers suffisait à alimenter la capitale en légumes.* » (Hervé-Gruet, 2014, p. 140). Sachant que la population parisienne en 1845 atteignait le million d'habitants, une surface de 13 ou 14 m<sup>2</sup> par habitant — cultivée, il est vrai, de main de maître et d'une manière très intensive par une élite de véritables « orfèvres du sol » capables de produire trois à quatre récoltes par an même en hiver — suffisait pour assurer l'autosuffisance en légumes de la capitale, en toutes saisons !

Nul besoin cependant de recourir à cette hypothèse extrême (qui présuppose en particulier une population pouvant non seulement compter sur l'aide de « jardiniers d'élite », mais composée de surcroît, pour une large part, de passionnés du recyclage naturel des excréta prêts à consacrer leur temps libre à leur violon d'Ingres, aussi bien en pleine terre qu'en hors sol, sur la moindre parcelle d'espace disponible — toitures en terrasse, balcons, façades, tous les recoins non artificialisés des

---

86 Elain, 2007, p. 171

87 De Looze, 2018

espaces publics,... — selon des modalités très contraignantes) : il suffit simplement de changer d'échelle. Car si l'on revient à « l'hypothèse basse » (500 m<sup>2</sup> de sol vivant par habitant, gérés de manière extensive par des non spécialistes), 50% des 1,2 millions d'hectares de la région Ile-de-France<sup>88</sup> suffiraient, en théorie, à assurer à la fois l'autonomie alimentaire et le recyclage intégral des excréta des 12 millions habitants que compte ce territoire, à condition de mettre en place une agriculture reposant uniquement sur des techniques de valorisation agricole des déchets organiques « locaux » (incluant, outre l'urine et les fèces, la biomasse produite par les espaces verts) à différents « degrés » de proximité (ou d'éloignement). Notons que ce résultat — qui, reposant sur une règle de trois et pas mal d'hypothèses simplificatrices, devrait être soumis au regard critique de spécialistes — s'inscrit en faux par rapport à certains « messages annexes » très préoccupants du *Shift project* (« annexes », car l'agriculture n'est pas le cœur des travaux de ce *think tank*), comme cette communication de Petros Chatzimpiros (université de Paris-Diderot) aux *Ateliers du Shift* du 24/09/2019, où le conférencier estime impossible qu'une agriculture sans énergie fossile puisse nourrir l'humanité. *A fortiori*, l'autonomie alimentaire de l'Ile-de-France, de surcroît avec une agriculture fondée sur le recyclage de ressources exclusivement régionales et indépendante de ressources non renouvelables, serait une utopie. Force est cependant de constater que notre rapide calcul va plutôt dans le sens des chiffres donnés par un article cosigné par quatre auteurs<sup>89</sup> — dont le premier est ingénieur agronome — et selon lequel 29 millions de baguettes de pain « pourraient être produites quotidiennement avec l'aide de la fertilisation du blé par l'urine des 12,1 millions de franciliens, soit près de dix fois la consommation quotidienne », ce qui permettrait par ailleurs d'éviter le recours aux 703 tonnes d'azote que contiennent les engrais industriels synthétiques utilisés chaque jour pour nourrir ces mêmes franciliens (cette valeur prend aussi en compte les importations). Il est néanmoins clair que seule une confrontation des arguments des uns et des autres permettrait d'avancer sur cette question apparemment non consensuelle mais pourtant vitale de par ses enjeux, preuve supplémentaire, s'il en faut, de la pertinence du « décloisonnement disciplinaire » et de la nécessité d'encourager le dialogue constructif entre spécialistes de différents domaines.

Pour en venir aux formes urbaines, la vertu du chiffrage sommaire (simpliste ?) proposé — outre le fait de donner quelques ordres de grandeur — est de confirmer et de souligner l'importance de raisonner à différentes échelles : chacune des multiples techniques évoquées dans la section 1 — de même que chacun des exemples d'initiatives, locale et non locales, pointées à la section 2 — ayant sa pertinence, donner au territoire la possibilité, *via* les formes urbaines, d'en accueillir un maximum n'est donc pas inutile.

Quelles sont les ressources spatiales de ce territoire ?

### 5.4.3. Atouts spatiaux d'Est-Ensemble

Sans reprendre les cartes du chapitre IV intitulé *Zonage multi-échelle pour l'analyse de l'accessibilité* du rapport du lot 2 du projet SOFT<sup>90</sup>, rappelons simplement que le territoire d'Est-Ensemble est caractérisé par un polycentrisme fonctionnel que le projet SOFT vise à accompagner, renforçant les contrastes des densités. Ce polycentrisme a été mis en évidence aux quatre échelles retenues pour le zonage : à l'échelle de l'agglomération parisienne, Est-Ensemble possède trois sous-centres (deux en bordure de Paris, un à l'est) ; l'échelle suivante permet de focaliser sur les zones dont le projet propose de renforcer la centralité (certaines zones en bordure du canal de l'Ourcq, sur la corniche des forts à Romainville, certains secteurs de Montreuil) ; à une échelle encore plus fine (carroyage INSEE) apparaît clairement l'alternance de zones aux densités contrastées, ainsi que le nombre important d'espaces verts ; enfin, l'échelle la plus fine (qui se rapproche de celle des projets de ZAC) permet d'identifier les secteurs où des préconisations de densification et d'aménagement peuvent être proposées : c'est l'échelle qui met en évidence les potentialités du territoire restant à exploiter.

Ce zonage multiscalair est susceptible de convenir à l'identification des capacités du territoire d'Est-Ensemble en termes de recyclage des excréta humains en association avec diverses activités agricoles, et donc à des propositions d'aménagements

---

88 A l'échelle d'une région, 50% de surface consacrée aux activités agricoles — pourcentage frisant l'utopie urbaine dans le cadre d'un territoire tel qu'Est-Ensemble — n'a rien d'irréaliste : d'après le dernier recensement (2010), l'Île-de-France compte un peu plus de 5000 exploitations réparties sur environ **47%** du territoire régional.

89 Pruvost-Bouvattier, M., Viallex, M., Joveniaux, A., Esculier, F. (2020). *Valoriser l'azote et le phosphore des urines pour une meilleure sécurité écologique et alimentaire*, Note rapide de l'Institut Paris Région, n° 858.

90 Clerc, M., Haffner, M., Lehman, X., Pioli, R., Poirel, M., Bonneau, P., Cousin, J., De Gouvello, B., Laborde, J.-L., Bonin, O, Frankhauser, P., Thébert, M., (2019). *Projet SOFT (sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport), rapport du lot 2 : scénarios, Rapport intermédiaire du projet de recherche SOFT pour l'ADEME.*

allant dans ce sens. A cette différence près que les « aménagements » dont il est question relèvent non plus de « densifications », mais — puisqu'il s'agit de « rendre aux cultures » certains espaces — plutôt de « dédensifications ».

#### 5.4.4. Question de densités

A cet égard, quelques précisions concernant la notion de « densité » méritent d'être apportées<sup>91</sup>. Certains travaux traitant de la « forme urbaine » selon une optique de « durabilité » privilégient parfois une approche consistant à considérer séparément différents « aspects » de cette forme urbaine, une approche qui risque de contribuer à alimenter l'illusion qu'une caractéristique isolée et décontextualisée peut faire office de « levier » qu'il suffirait d'appliquer (à la manière d'une recette simple) dans n'importe quel contexte et à n'importe quelle échelle. Exemple parmi d'autres, la *densité*, justement, est particulièrement illustrative des travers d'une telle vision : selon nombre d'auteurs, les vertus de la « densification » (des villes, des quartiers) font désormais figurer cette dernière au rang des « bonnes pratiques durables ». Mais une ville plus dense est-elle forcément plus sobre ? Avant de conclure dans ce sens, cette notion devrait, au moins, être précisée : *densité de quoi ?* (s'il est vrai que la densité « rapproche », ses supposées vertus ne dépendent-elles pas avant tout de *ce* qu'elle rapproche ? lieux d'activités ? personnes ? éléments de bâti ? unités fonctionnelles ?...); *densité à quelle échelle ?* (villes à l'échelle d'un continent, commerces à celle d'un quartier, postes de travail dans une usine ?); *densité pour qui ?* (par exemple, sa perception varie avec le mode de transport : une densité d'équipements commerciaux peut paraître élevée à l'automobiliste, faible au piéton, en référence à l'espace-temps); *densité où ?* (son acceptabilité peut ne pas être la même en centre-ville historique que dans le périurbain); *densité pourquoi faire ?* (la densification n'est pas une fin en soi : le fait qu'elle soit désirable ou non est tributaire de l'explicitation d'un objectif, par rapport auquel se mesure sa pertinence); ;...

Une autre facette de ce type d'approche est l'appréhension de la forme urbaine indépendamment des affectations fonctionnelles — réelles ou potentielles — aux espaces bâtis et non bâtis (les « pleins » et les « vides »), alors même que c'est cette question des possibilités — ou non — d'affectation fonctionnelle qui est cruciale en matière de potentiel de sobriété énergétique. Par exemple, à une certaine échelle, telle configuration des « vides » permet l'affectation de transports collectifs de surface favorables à des pratiques de déplacements plus sobres (sous condition d'une configuration idoine des « pleins » adjacents). A une autre échelle, la « forme » des vides peut créer des puits de lumière favorables aux économies d'éclairage. A d'autres échelles encore, des agencements appropriés entre pleins et vides peuvent favoriser le potentiel de ces derniers à devenir des « espaces-ressources », à la fois source d'approvisionnement (la pratique de l'agroforesterie de proximité génère nourriture, biomasse — donc énergie — et matériaux de construction renouvelables) et exutoire (traitement/recyclage des déchets), donc aider à rendre plus sobres (en les raccourcissant, en les simplifiant) les grands flux du métabolisme urbain : l'approvisionnement (gestion de la ressource) et l'évacuation/recyclage des rejets (gestion des déchets solides, liquides, gazeux).

Une telle réflexion conduit à une sérieuse relativisation des prétendues vertus de la densification évoquées plus haut : sans doute incontestables (à certains égards) aux échelles locale (les déperditions énergétiques d'un immeuble compact de 25 appartements sont moindres que celles de 25 maisons individuelles) et supra-urbaine (à volume d'échanges égal, deux villes proches génèrent moins de kilomètres parcourus, donc moins d'énergie consommée, que deux villes lointaines), elle deviennent plus discutables aux échelles intermédiaires, notamment celles relevant du domaine de pertinence à la fois des modes actifs (marche à pied, vélo,...) et des modes collectifs urbains (tramway). A l'échelle d'un quartier, par exemple, une forte densité est en effet synonyme d'affectation exclusive de l'espace aux infrastructures bâties et aux voies de communication au détriment des « espaces-ressources » dont l'accessibilité sans recours aux modes mécanisés mérite pourtant de figurer au nombre des critères de sobriété énergétique. Ménager des « vides » dans le tissu urbain au détriment de la densification peut donc s'avérer pertinent, et transformer la configuration d'une ville selon des impératifs de sobriété pourrait dès lors nécessiter une densification à certaines échelles, une « dédensification » à d'autres...

Pour le sujet qui nous occupe, c'est bien de « dédensifications » qu'il s'agit. Et même, plus précisément, de « désartificialisation », car une voie ou une place de parking, bien que comptant parmi les « vides » de la forme urbaine, ne saurait être utilisée pour la pratique du recyclage des excréta par l'agriculture, nécessitant des sols vivants. La question qui se pose est de savoir comment concevoir et articuler de manière optimale ces « espaces non artificialisés »<sup>92</sup> aux superficies pouvant se chiffrer aussi bien en mètres carrés (une minuscule parcelle, une place de parking « désartificialisée », voire une « bande verte » de quelques dizaines de centimètres de large entre un trottoir et une façade d'immeuble) qu'en hectares

91 Cf. Stransky, V. (2013). « Repenser les modes de transport », *Constructif*, n°35, pp. 82-85.

92 qui d'ailleurs, pour en revenir au terme densité, sont de nature à augmenter considérablement cette dernière en termes de d'organismes végétaux et animaux, depuis les bactéries du sol jusqu'aux arbres fruitiers.

(véritable exploitation agricole). L'avantage d'une telle dédensification multiscalaire est, d'une part, qu'elle offre la possibilité de très nombreux types de pratiques de valorisation des excréta (pratiques dont nous avons souligné la grande variété, notamment en termes de « technicité » et de « proximité » à la section 1), mais également de favoriser la biodiversité par la multiplication de niches écologiques de différents types et de différentes tailles, dont la présence même aux échelles les plus fines rend possible la réalisation d'éventuels corridors écologiques par une mise en réseau de ces écosystèmes pouvant devenir très riches en prédateurs limitant la prolifération des nuisibles et rendant inutile le recours aux pesticides. A condition toutefois que les positionnements respectifs de ces espaces non artificialisés et leur articulation sous forme de « réseaux » connectés aux périphéries de la ville permettent le développement de tels écosystèmes, riches et résilients.

#### 5.4.5. Fractalité, circularité, sobriété ?

Le projet global de « forme urbaine » favorable à la circularité du système alimentation/excrétion peut être considéré comme la résultante d'un double mouvement de densification (au sens habituel du projet urbain) et de dédensification/désartificialisation, visant à favoriser l'imbrication spatiale multiscalaire. A cet égard, la configuration actuelle du territoire d'Est-Ensemble, caractérisée d'ores et déjà par l'alternance des densités, apparaît comme un atout fort, que le projet pourrait exploiter en accentuant non seulement l'imbrication, mais également les contrastes. Cela complexifie le projet et nécessite une vision simultanée à toutes les échelles, une coordination poussée entre interventions et des arbitrages clairs. Pour aider à formaliser un tel projet, le recours à la **géométrie fractale** pourrait s'avérer utile.

Certes, l'idée n'est pas nouvelle : depuis les années 1980, certains chercheurs s'attachent à mettre en évidence le caractère fractal de diverses structures urbaines (cf. **Annexe 3**). Parmi les noms phares de ces travaux, citons Pierre Frankhauser qui, d'ailleurs, ne s'arrête pas au constat de cette « fractalité persistante », mais en propose également des facteurs explicatifs (Frankhauser, 1995), repris ultérieurement pour être analysés selon le prisme du concept d'émergence (Stransky, 2019).

Cependant, ce ne sont pas ces facteurs explicatifs (supposés ou réels) qui sont à retenir dans le cadre de cette étude, mais bien le message qui se dégage de la plupart des travaux s'attachant à étudier la croissance des structures urbaines à l'aune de la géométrie fractale (annexe 3). Ce message est le suivant : en dépit du fait qu'il n'existe pas, lors du processus de « formation des villes », deux situations présentant des éléments de contexte identiques ; en dépit du fait que la production des formes urbaines résulte de processus complexes de prises de décision et de jeux d'acteurs ; en dépit du fait que rois et planificateurs ont de tout temps œuvré pour façonner, parfois de façon très dirigiste, les agrégats bâtis ; en dépit du fait que nous, humains, sommes censés avoir pleine liberté de donner la forme que nous désirons à nos réalisations ; en dépit de tout cela, la fractalité des formes urbaines semble toujours émerger.

Dès lors, pour asseoir l'idée directrice d'un projet dont l'une des priorités est de favoriser une alternance structurée et multiscalaire de « pleins » et de « vides », il est tentant de se référer à des principes qui semblent correspondre à une « tendance naturelle » du développement des villes.

De plus, l'élaboration d'un tel projet reposant sur une logique fractale peut bénéficier des travaux récents d'Olivier Bonin et Pierre Frankhauser, dont l'objectif n'est pas de confirmer ou d'infirmer la fractalité des villes, mais de proposer des « modèles géométriques multi-échelle idéal typique » de nature à enrichir la boîte à outils du géographe (et potentiellement de l'aménageur) de nouvelles mesures en réponse aux injonctions contradictoires — elles-mêmes dictées par les impératifs de la transition énergétique et du changement climatique — qui, d'un côté, insistent sur la nécessité de ménager des espaces non construits en ville par la création de trames vertes et bleues, mais **en même temps**, mettent en exergue les vertus de la densité de la population et préconisent la lutte contre l'étalement urbain. « *Dans ce contexte la boîte à outil des fractales présente l'intérêt de permettre de construire [...] des formes de différents degrés de non-uniformité spatiale (mesurés par la dimension fractale), ainsi que différentes caractéristiques morphologiques. [...] Si une fractale représente le bâti, les lacunes constituent les espaces qui doivent accueillir, en plus de la voirie et des espaces publics, les trames vertes et bleues, les zones réservées à l'agriculture urbaine, et constituer de manière générale les couloirs de ventilation des villes. La configuration multi-échelles de ces lacunes est jusqu'ici peu étudiée. En outre les bâtiments ne sont pas de simples aplats de noir sur une carte, mais accueillent des habitants, des activités, des services, des commerces, et possèdent donc leur propre intensité, exprimable sous forme d'un vecteur. Les multifractales multivariées constituent alors une approche adaptée pour intégrer les aspects de concentration de la population et des emplois, des aménités et des services à différentes échelles, tout*



en assurant la présence de lacunes nécessaires aux **fonctions relevées**. »<sup>93</sup> ... fonctions auxquelles viendraient désormais s'ajouter les aires de sols vivants propices à la circularité du processus alimentation/excrétion, et donc à la sobriété énergétique des villes.

## 5.5. Conclusion

Recycler localement les déjections humaines pour pratiquer l'agriculture urbaine, c'est à la fois :

- 1) éviter d'avoir à se débarrasser de ces « déchets » en ayant recours à divers traitements — consommateurs d'énergie ;
- 2) éviter d'importer<sup>94</sup> certains fertilisants (notamment le phosphore<sup>95</sup>) — en consommant de l'énergie — et d'en produire d'autres (notamment l'azote<sup>96</sup>) — en consommant de l'énergie ;
- 3) augmenter le potentiel de production locale de nourriture en rendant plus productive l'agriculture urbaine et donc limiter les chaînes d'approvisionnement longues — consommatrices d'énergie.

Trois postes, donc, potentiellement porteurs de considérables améliorations de l'efficacité énergétique des villes — thème central du projet SOFT.

En France, la valorisation des excréments humains en milieu urbain n'est pas une réalité. Pourtant, l'enquête menée sur le territoire de la communauté d'agglomération Est-Ensemble, complétée par une recherche bibliographique sur les expériences menées ailleurs en France ou à l'étranger et par une investigation diachronique informelle sur la toile autour de l'évolution des visites de certaines pages thématiques, fait apparaître un faisceau d'indices convergents montrant que cette question suscite un intérêt croissant non seulement dans les associations, mais également chez des entrepreneurs, des particuliers, des collectivités... et des chercheurs. Indices annonçant une lame de fond qui bouleversera dans un futur proche notre rapport à une catégorie de déchets qui, d'un statut honteux de chose que l'on cache, acquerra le statut de ressource précieuse, voire vitale ?

Dans cette contribution, nous avons illustré la richesse du champ des possibles pour de telles pratiques sur différents registres : séparation ou non lors de la collecte, caractère individuel ou collectif, degré de technicité... Concernant ce dernier point, force est d'ailleurs de constater que la distinction entre *high tech* et *low tech* ne tient pas forcément à l'utilisation — ou non — d'appareils ou de produits dont l'élaboration requiert des technologies avancées ; elle peut reposer aussi sur la maîtrise — ou non — de connaissances, savoirs et savoir-faire dans la mise en œuvre d'outils rudimentaires. De toute façon, dans le processus de recyclage des excréta en nourriture, les approches *high tech* et *low tech*, si elles sont correctement maîtrisées et mise en œuvre selon les règles de l'art, donnent les mêmes résultats. C'est aux besoins spatiaux et temporels que tient la différence, les premières étant généralement « intensives » (en surface et en temps), les secondes plutôt « extensives ». En milieu urbain, où la contrainte spatiale est forte et où la « course contre la montre » semble être la règle, la tentation est forte de préconiser d'emblée le *high tech*, quelle que soit l'acception du terme. Pourtant, recourir de manière exclusive à de telles approches signifie écarter l'écrasante majorité de la population de la grande aventure du recyclage. Comme souvent, la sagesse pourrait consister à emprunter une voie intermédiaire, *en offrant le maximum de possibilités aux deux approches de se côtoyer et de se développer de concert*.

Pour l'aménageur, cela se traduit par une réflexion sur l'orientation à donner à l'évolution des formes urbaines qui, en tant que « écran » de pratiques diverses, permettent de favoriser, parmi ces dernières, celles qui apparaissent comme compatible avec des objectifs considérés comme prioritaires. Sans forcément préconiser de faire figurer *hic et nunc* l'autonomie

---

93 Olivier Bonin, Pierre Frankhauser, « Des fractales pour des villes résilientes et économes : enjeux théoriques et mathématiques », *Quatorzièmes Rencontres de Théo Quant*, Laboratoire TheMA – UMR 6049, Février 2019, Besançon (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02067241>)

94 de très loin.

95 en sachant que les mines de phosphates s'épuisent et que le risque de pénurie devient inquiétant.

96 La question de l'azote est cruciale pour faire face au défi alimentaire mondial. Dans sa thèse intitulée *Modélisation des transitions en agriculture : énergie, azote, et capacité nourricière de la France dans la longue durée (1882-2016) et prémices pour une généralisation à l'échelle mondiale*, Souhil Harchaoui souligne l'importance de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote et montre que la population humaine maximale supportable sur Terre peut varier de **6 à 17 milliards de personnes** en fonction de la part de la production totale de grain utilisée dans l'alimentation animale, **l'efficacité d'utilisation de l'azote et le régime de fertilisation azotée**.

alimentaire via une production locale parmi ces priorités<sup>97</sup>, rien n'empêche de commencer à explorer des formes urbaines qui, dans l'alternative d'un avenir rendant nécessaire un tel scénario extrême (qui implique notamment l'absence de recours aux énergies et matières non renouvelables et une réduction des besoins en eau), offrirait des configurations spatiales adaptées à sa réalisation, en cas de besoin. Dans cette éventualité, compte tenu des temporalités longues qui caractérisent l'évolution des formes urbaines, il n'est jamais trop tôt pour réfléchir à ce que devraient être ces configurations.

Fonder sur un *modèle de type fractal* le parti d'un projet dont l'une des priorités est la circularité du processus alimentation/excrétion apparaît dès lors comme une piste à explorer sérieusement. En préservant et en créant des aires non bâties de sols vivants<sup>98</sup> spatialement hiérarchisés, ce modèle crée en effet de potentielles « niches écologiques » offrant des opportunités multiples (aux particuliers, aux associations, aux professionnels,...), adaptées à un maximum de goûts, de besoins et de contraintes, pour développer des activités de recyclage des excréta par diverses formes d'agriculture urbaine (pouvant, en cas de besoin, s'orienter vers une production alimentaire intensive) à différents « degrés de proximité », depuis la cour d'immeuble (voire le balcon ou la façade<sup>99</sup>) jusqu'à l'exploitation agricole d'envergure régionale, en passant par toute la gamme des échelles intermédiaires — îlot, quartier, commune,... Et, en prime, de nombreux bénéfices collatéraux : car l'apport « en continu » du produit du compostage des excréments, et donc l'augmentation progressive — au sein de tous ces « vides » qui irriguent la ville à toutes les échelles — de la couche d'humus agissant comme une éponge, conduit, lors des périodes de fortes pluies, à la limitation des excès d'eau (donc du risque d'inondation), de l'effet des lessivages et d'érosion du sol, et à l'inverse, en période de sécheresse, à la restitution lente de l'humidité absorbée et à la réduction de l'évaporation (d'où économies importantes « d'or bleu »). Donc au final, à *l'augmentation de la résilience face à la grande inconnue des effets du changement climatique*.

Pour finir, il n'est pas inutile de rappeler que, contrairement à ce que pourraient suggérer certains de ses passages qui y prennent une place (très) importante, ce document n'a pas pour objet de faire une apologie sans réserve des approches dites permaculturelles qui, ces dernières années, suscitent un réel engouement manquant parfois à tel point de discernement que la permaculture en finit par devenir une véritable croyance pour certains.

Le propos n'est pas non plus d'affirmer que le modèle de la consommation en circuit court soit reproductible dans tous les cas de figure et qu'il doive être appliqué à toutes les exploitations agricoles françaises, ni que le parti d'aménagement proposé doive conduire à la mise en place d'un système agricole économiquement viable (ce qui n'exclut pas qu'il le soit par endroits, comme dans le cas d'éventuelles micro-fermes trouvant leur place dans la variété des « niches » préservées par cette proposition<sup>100</sup>). Il s'agit plutôt de miser sur le développement rapide d'un réseau de pratiques se situant en dehors du schéma de rentabilité, car reposant aussi sur le bénévolat, le tissu associatif, les activités de temps libre. Comme c'est d'ailleurs le cas dans certaines des micro-fermes à grand succès médiatique. Par exemple, et sans nier l'immense intérêt de l'expérience, la vision idyllique présentée par une communication savamment étudiée de certains reportages ou études sur la ferme du Bec

---

97 « *Même si l'urine et le compost ont encore du chemin à faire pour être utilisés en production légumière professionnelle, ils pourraient être utilisés efficacement en espaces vert et en production de bois d'œuvre ou de chauffage* » (De Looze, 2018, p. 112)

98 Cette précision est importante, car le caractère « non bâti » seul ne suffit pas, tant il est vrai qu'il faut du temps à un sol vivant de se constituer. Des sols vivants intimement imbriqués entre les surfaces bâties est la condition *sine qua non* pour qu'il soit possible, en cas de besoin, de prendre du jour au lendemain la décision de planter des cultures alimentaires. Ce mélange intime multiscalair d'espaces bâtis et de sols vivants pourrait utilement être complété par la préconisation, chaque fois qu'un arbre ou un arbuste est planté dans les espaces publics, d'opter systématiquement pour un fruitier, d'essence adaptée aux conditions locales. Cette mesure serait d'autant plus pertinente que les écosystèmes les plus productifs sont les savanes (forêts clairsemées avec étagement en strates) qui optimisent la captation par les plantes de l'énergie solaire, donc la transformation de cette dernière en biomasse / nourriture (Shepard, 2016). La plantation systématique de fruitiers, qui ne deviennent productifs qu'au bout de plusieurs années, serait une manière d'anticiper l'éventualité d'avoir à transformer rapidement les espaces publics en « savanes comestibles ».

99 Cf. par exemple l'ouvrage *Mon petit jardin en permaculture : durable, esthétique et productif* de Joseph Chauffrey, où l'auteur explique comment transformer un minuscule jardin en un lieu vivant et ultra-productif en optimisant les moindres espaces disponibles : toit du garage, bottes de paille sur la terrasse, cultures verticales...

100 Sans forcément se fixer comme l'objectif (sans doute utopique) de l'autonomie alimentaire des villes, et compte tenu de l'importance du pourcentage de citadins dans la population mondiale, l'essor de l'agriculture urbaine peut néanmoins être considéré comme un levier *local* au besoin de résilience alimentaire *globale*, à l'échelle de la planète (Pesty, 2020, p. 64).

Hellouin<sup>101</sup> est certainement à relativiser en raison de l'omission (ou, en tout cas, de l'absence de mise en exergue) d'informations pourtant essentielles pour qui voudrait se lancer à son tour dans la permaculture : la ferme est en effet aussi un centre de formation (*Archipel*, nom de la structure juridique) dont les stagiaires travaillent sur l'exploitation, et profite donc d'une main d'œuvre bon marché, voire gratuite. D'autres microfermes, non médiatisées et dépourvues de telles activités « annexes », permettent sans doute à leurs exploitants de gagner leur vie, mais très probablement en raison de la passion qui anime ces derniers et du nombre « d'heures supplémentaires non rémunérées » qu'ils sont prêts à y consacrer. L'important développement sur ces thématique en section 2 de ce document avait surtout pour but d'attirer l'attention sur un phénomène en plein développement, afin d'envisager la possibilité de profiter de ce qui apparaît comme une tendance lourde — se manifestant par la mise en place d'un véritable « réseau d'expérimentations grandeur nature »<sup>102</sup> — pour en faire l'une des composantes de la proposition du parti d'aménagement.

Car le propre d'un projet digne de ce nom n'est-il pas, précisément, d'essayer de mettre à profit les évolutions d'une société (avec ses tendances, ses centres d'intérêt, pourquoi pas ses modes) pour apporter des réponses à ses objectifs prioritaires ?

La présente contribution débute par le constat d'une situation très préoccupante qui invite au pessimisme.

Essayons de la terminer sur la note optimiste qu'inspire (en cherchant bien) cette « question-réponse »<sup>103</sup> :

**Q :** *Comment assure-t-on les besoins de base de l'occidental moyen dans un monde en contraction ?*

**R :** *Je ne sais pas. Je vais vous répondre en termes de « moyens » mis dans cette question plus qu'en termes de « réponses » à cette question.*

*D'abord il faut savoir combien il y aura d'occidentaux. Ensuite il faut savoir ce que vous entendez par « les besoins de base » : est-ce l'alimentation qui vous coûte 10% de ce que vous gagnez ? Ou serez-vous d'accord pour que ce soient les deux tiers de ce que vous gagnez (comme c'était le cas il y a deux siècles... et en mangeant cinq fois moins de viande que de nos jours) ?... Aujourd'hui, la réflexion organisée sur ce genre de question est extrêmement faible, voire inexistante : il est inaudible pour une large partie du monde de la recherche de se situer dans un univers contraint à ce point là.*

*La seule bonne réponse que je puisse vous faire, c'est : en y réfléchissant.*

*Qui doit y réfléchir ?*

*Doivent y réfléchir les gens qui sont dans le monde de la recherche technique : par exemple les agronomes devraient consacrer une partie des forces vives de l'INRA à se demander comment faire pour continuer à produire de la nourriture dans un monde où le climat a été modifié et où les moyens énergétiques disponibles sont moins importants. Il faut commencer par faire ce travail pour avoir une idée de ce que peut être l'offre.*

*Une recherche est à faire aussi du côté économique, car les modes de régulation qui permettent de faire émerger les pratiques agricoles vertueuses pour faire face à ce problème sont éventuellement différentes de celles que nous avons aujourd'hui. En général, des pratiques agricoles pertinentes pour intégrer la contrainte environnementale coûtent plus cher que les pratiques actuelles ; elles ne pourront donc pas émerger si les acteurs en question ne sont pas protégés de la concurrence internationale.*

---

101 Dans l'ouvrage *Permaculture : guérir la terre, nourrir les hommes* écrit par les créateurs de la ferme du Bec Hellouin, Perrine et Charles Hervé-Gruyer, une section (pp. 178-190) est consacrée au programme de recherche ayant réalisé, durant une année, le suivi du fonctionnement et de la production agricole de cette ferme, pour conclure que compte tenu du nombre d'heures travaillées dans le jardin (1400 h) et du chiffre d'affaires dégagé (32 000 €), l'exploitation est économiquement viable : « 1000 mètres carrés cultivés en maraîchage bio permaculturel selon la méthode de la Ferme du Bec Hellouin permettent donc de supporter une activité à temps plein » (p. 183). Le projet initial (collaboration AgroParisTech / INRA) et les rapports intermédiaires sont consultables sur le site <https://www.fermedubec.com/>.

102 C'est bien d'expérimentations qu'il est question, tant il est vrai que dans ce domaine, nous en sommes plutôt au début du stade de validation. Pour reprendre les termes de Pascal Perri, chercheur et ancien dirigeant d'une entreprise agro-alimentaire : « Rien n'empêche d'encourager les modèles de production dits « alternatifs », de les tester et les analyser pour en tirer des leçons constructives et améliorer les pratiques agricoles. Cependant, il faut veiller à la crédibilité des démarches menées et se méfier des trouvailles exceptionnelles comparables au moteur à combustion qui fonctionne avec de l'eau. En économie, comme en physique et certainement en agronomie, il n'y malheureusement jamais de miracle... » ( <http://stop-intox.fr/small-nest-pas-toujours-beautiful-la-permaculture-une-nouvelle-croyance/> ).

Mais en attendant que le temps fasse le tri, emprunter cette voie (ou « surfer sur la vague ») pour agir en faveur du développement des pratiques de recyclage des excréta en économisant l'eau potable par l'introduction d'une agriculture urbaine s'inspirant de ces principes apparaît comme une option présentant peu de risques et beaucoup d'avantages.

103 Retranscription de la réponse de Jean-Marc Jancovici à une question qui lui a été posée au cours de la rencontre au *Ground Control* le 10 septembre 2020 avec l'équipe de *The Shift Project* pour discuter du PTEF (Plan de transformation de l'économie française). L'intervention de Jean-Marc Jancovici intitulée *La double contrainte carbone : comprendre la problématique climat-énergie* est disponible en ligne :

<https://www.groundcontrolparis.com/societe-decarbonnee-resiliente/>

Une réflexion est également à entamer chez les élus locaux qui ont beaucoup de mal à se projeter dans un avenir de moyen et de long terme.

**Etc.**

*Donc c'est une question qui appartient à beaucoup de gens, qui doivent se donner un cahier des charges compatible avec ce que l'on sait de l'évolution du climat, de l'évolution de la disponibilité énergétique, de **l'évolution de la fertilité des sols**,... et qui doivent regarder comment on arrive à optimiser au mieux tout ça, et ce que l'on est capables de faire. Cela étant, si la réponse est que dans 50 ans — sachant que nous sommes aujourd'hui environ 450 millions d'Européens —, l'Europe, avec beaucoup moins de pétrole et un climat modifié, est capable de nourrir 200 millions de personnes, que faisons nous ?...*

*Il n'y a donc pas une réponse simple à cette question là. Par contre, il y a une **direction dans laquelle partir pour comprendre comment avancer.** »*

Mais qu'y a-t-il donc d'optimiste dans cette longue tirade (non retranscrite ici dans son intégralité) ?

La confirmation que l'exploration de scénarios alternatifs mettant en œuvre des organisations de l'espace et des pratiques encore inhabituelles (voire choquantes) à nos yeux est un exercice utile.

Et l'assurance de beaucoup de travail en perspective pour le monde de la recherche<sup>104</sup>...

---

104 ...bien qu'il soit un peu vexant de se retrouver dans le « Etc. » de la réponse de Jean-Marc Jancovici !

## 6. Scénarios d'usage du sol : **fractalopolis**, concept d'aménagement assisté par les fractales

---

### 6.1. Les enjeux de la gestion durable des zones métropolitaine

Le débat sur l'étalement urbain est omniprésent dans le contexte des stratégies d'aménagement du territoire. Il est évident que la périurbanisation contribue à un étalement urbain diffus (Wiel 2002) qui génère des flux de déplacement quotidiens et allongent les distances parcourues d'autant plus que les emplois et les commerces et services sont souvent loin des résidences. Ces effets néfastes ont d'abord été mis en évidence par Newman and Kenworthy (1989). En se référant à des enquêtes ménages, Kahn (2000) souligne que les déplacements des ménages périurbains sont de 31% plus élevés qu'au centre urbains. En outre, la construction de routes contribue au morcellement des espaces naturels et fragilise ainsi la biodiversité. Cependant si la consommation d'espace par la construction individuelle est souvent critiquée, il faut être conscient que celle causée par la construction de nouveaux axes de transport est bien plus importante. Ainsi, dans les franges franciliennes, entre 1987 et 1997, 1,4% de l'espace a été consommé par des bâtiments de type résidentiel et mixte, contre plus de 50% par des routes et plus de 25 % par des carrières et des chantiers (Tourneux, 2006). Charmes (2013) a calculé que même si chaque ménage français habitait une maison individuelle et si on prend en compte la croissance de la population, seulement 10 % du territoire seraient construits contre 5 % actuellement. Mais on compte déjà 12 % qui ne sont ni des zones naturelles, ni des zones agricoles.

Le retour à la ville compacte et dense est ainsi souvent mis en avant pour remédier à ces impacts négatifs (cf. e.g. Krier (1998)) et les recommandations de la loi SRU et de nombreux documents urbanistiques (SCOT, PLU) vont dans ce sens. Toutefois il paraît difficile de convaincre des ménages d'une densification dans leur environnement résidentiel s'ils ont choisi d'éviter la densité (Breheny (1997), Gordon et Richardson (1997)). Les opérations de densification des zones résidentielles sont ainsi souvent contestées par les populations concernées (Owens (1992), Remy (1994), Fouchier (1995)). En conséquence, Schwanen et al. (2004) voient dans la densification un risque à moyen terme de relocalisation des ménages vers des zones moins denses.

Mais contrairement à Kahn (op. cit.) d'autres auteurs relativisent l'impact de la ville dense sur la génération de trafic (Pouyanne (2004), Dupuy (2002)). D'un point de vue de fréquence de l'utilisation de la voiture il a été constaté que le nombre de déplacements n'était finalement pas significativement moins important dans les villes denses (Neuman (2005); Hall (1997)). Cervero et Murakami (2010) ont constaté qu'une augmentation de la densité d'un pour cent va de pair avec une diminution de 0,6% d'utilisation de la voiture. En outre ils soulignent que les zones plus denses bénéficient en général également d'une infrastructure routière plus dense ce qui incite à l'utilisation de la voiture. En effet, si la longueur des déplacements est plus faible dans des zones denses, la fréquence de déplacements ne diminue pas de façon significative (Bouwman (2000)). Par ailleurs, comme le fait remarquer Breheny (1997), la densification est souvent à l'origine d'une augmentation de la congestion mais aussi des prix fonciers et elle diminue l'accessibilité aux zones de loisir. Concernant la consommation d'énergie due aux déplacements, aux Pays Bas aucun effet positif n'a été constaté Bouwman (2000). Breheny et al. (1998) soulignent également qu'il paraît difficile de démontrer un lien étroit entre la consommation d'énergie par les transports et la densité urbaine et Crane (2000) a constaté que les résultats sont souvent contradictoires.

Il faut être conscient que la périurbanisation n'est pas uniquement la conséquence d'un prix foncier plus bas dans les zones plus éloignées des villes mais correspond à un mode de vie. Une enquête réalisée en 2007 par le Département Stratégies d'Opinion / Société de l'institut d'études marketing et d'opinion TNS Sofres (Gault et Bedeau (2007)) a confirmé que l'habitat souhaité par 56% des ménages français est la maison individuelle isolée et que la maison individuelle dans un ensemble pavillonnaire est préférée par 20% des ménages. De nombreux ménages plébiscitent donc toujours la maison individuelle entourée d'un jardin et souhaitent bénéficier d'un environnement vert et calme. Certains auteurs ont posé l'hypothèse qu'il existe un système de relations entre la structure et la fonction du paysage, sa perception par les habitants et leur niveau de satisfaction (Amerigo et al., (1997)). En effet les ménages prennent en compte un certain nombre de critères d'accessibilité. Schwanen et al. (2004) ont montré que les ménages tendent à choisir des lieux résidentiels qui minimisent la distance ou le temps d'accès aux emplois (Brun and Fagnani, 1994), mais aussi aux commerces (Lerman (1976)) ainsi qu'aux zones de loisirs fréquentées (Guo and Bhat, (2002)). L'accessibilité en marche à pied paraît être un critère important dans l'évaluation de l'accès aux espaces de loisirs (Hobden et al (2003)). Il paraît par ailleurs que la crise sanitaire actuelle ait renforcé le souhait d'un certain nombre de ménages de s'installer dans des zones moins denses, au vu des risques sanitaires plus élevées dans les zones de haute densification.

Il n'est donc pas surprenant que les opérations de densification des zones résidentielles soient souvent contestées par les populations concernées (Owens (1992), Remy (1994), Fouchier (1995)). En conséquence, Schwanen et al. (2004) voient dans la densification un risque à moyen terme de relocalisation des ménages vers des zones moins denses.

En effet il s'est avéré que la présence d'espaces végétalisés dans l'environnement résidentiel contribue à améliorer le bien-être des résidents et a un effet positif sur leur santé (Ellaway et al., 2001; Evans, 2003; Latkin and Curry, 2000, Jensen et al., 2000 et réduit le stress (Kaplan, 1995).

En effet il s'est avéré que la présence d'espaces végétalisés dans l'environnement résidentiel contribue à améliorer le bien-être des résidents et a un effet positif sur leur santé (Ellaway et al. (2001); Evans, 2003; Latkin and Curry, 2003, Jensen et al., 2000 et réduit le stress (Kaplan, 1995).

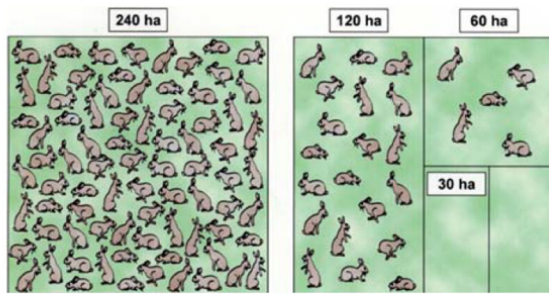
Un autre problème des zones denses est lié au changement climatique qui aura comme conséquence une augmentation des îlots de chaleurs ce qui risque d'augmenter l'utilisation de climatiseurs. Les climatologues insistent de ce fait sur la préservation et la mise en place des couloirs de ventilation (Kuttler (2011)). Différents auteurs soulignent que des couloirs de ventilation connectés au paysage ouvert sont bien plus efficace que des parcs urbains isolés (Kuttler and Spronken-Smith and Oke (1999) Sachsen et al. (2013)). Frey (2000) cite comme exemple positif les trames vertes séparent les axes de développement le long des lignes de chemin de fer suburbaines du plan de doigts de gants de Copenhague. Ainsi la préservation des trames vertes en milieu urbain fait partie de la législation d'aménagement en Allemagne (Figure 49).



Figure 49 : Protection d'un couloir de ventilation dans l'agglomération de Stuttgart

Un autre aspect est le rôle d'espaces naturels connectés pour la protection de la biodiversité. En effet de multiples travaux ont mis en évidence que la fragmentation des espaces verts affecte de façon cruciale la possibilité de survie de beaucoup d'espèces (Linehan et al., 1995, Harris, 1984; Wilcox and Murphy, 1985) (Figure 50 (a)) et l'interconnexion de zones vertes est exigée (Jongman et al. (2004) ; Collinge, 1996 ; Forman, 1995). En outre une variété de taille des zones vertes s'avère complémentaire (Forman, 1995).

Soulignons que les trames vertes intra-urbaines peuvent aussi accueillir des jardins collectifs et des espaces agricoles et ainsi contribuer à développer une agriculture de proximité comme ceci a été étudié à Rennes (Figure 50 (b)).



(a)



(b)

Figure 50 : Taille d'un espace vert et capacité d'accueillir une espace d'animaux, (b) : Zones vertes et réserves agricoles à Rennes

La préservation – et la création de trames vertes connectées, faisant aussi partie du Grenelle 2 de l'environnement, est donc un aspect à intégrer dans les stratégies d'aménagement. En outre des stratégies qui refusent tout simplement la périurbanisation ne semble donc pas être efficace, car elle ne tient pas suffisamment compte du contexte. Il semble ainsi plus utile de développer des stratégies d'aménagement dont le but sera plutôt de mieux le « canaliser », comme le proposent Beaucire et al. déjà en 1999.

## 6.2. Le concept **fractalopolis**

Apparemment les problèmes constatés sont essentiellement liés à l'organisation spatiale des zones métropolitaines. Nous avons développé dans le cadre de plusieurs projets PREDIT un concept d'aménagement qui vise à proposer une structuration de ces espaces qui s'inspire de la géométrie fractale, notamment la logique des tapis de Sierpinski multifractales dans le but (Frankhauser 2008, 2015), Frankhauser et al. (2018), Frankhauser 2020) :

- de créer une hiérarchie urbaine fonctionnelle à partir d'un système spatial emboîté de centres autour d'un centre principal, chaque centre étant entouré du même nombre de centres d'ordre inférieur;
- de concentrer l'urbanisation le long d'axes de transport en commun tel que ceci est présent dans certains plans d'aménagement de villes du Nord de l'Europe (Copenhague, Berlin, Hambourg, Helsinki)
- de créer un système de trames vertes connectées et emboîtées qui permet de rendre facile l'accès à des zones vertes récréatives, de limiter les coupures des zones vertes ;

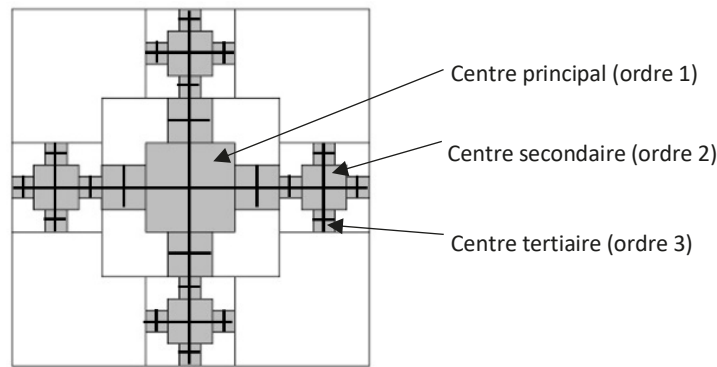


Figure 51 : le schéma de Fractalopolis

Le principe est illustré sur la figure 51. On constate que les zones urbanisées, représentées en gris, sont concentrées le long des axes de transport en commun, représentés par des traits. Les zones laissées en blanc sont les zones qui ne sont pas prévues pour être développées. Un tel concept correspond à une « concentration déconcentrée ». Soulignons que notre modèle se distingue à l'échelle locale également clairement de la tendance à arrondir les bordures urbaines, car l'articulation entre zones bâties et paysage ouvert à une échelle locale rappelle plutôt les réflexions sur la « Zwischenstadt » de Sieverts (1997) ou celles de Dubois-Taine et Chalas (1997) sur la « ville émergente ».

L'introduction d'une hiérarchie de centres urbains qui s'inspire de la logique de la théorie des lieux centraux permet de satisfaire, en fonction de leur importance, les besoins des résidents tout en réduisant les distances d'accès aux services et commerces dans le but de réduire la consommation d'énergie et la pollution. Ainsi les services banals sont présents dans toutes les villes, mais les centres périphériques ainsi que le centre principal offrent des aménités supérieures fréquentées plus rarement, par exemple une fois par semaine. Le centre principal seul dispose des services rares, des magasins de haut de gamme et des offres culturelles élevées. La distance à parcourir est ainsi en cohérence avec la fréquence de recours. Cette logique est en adéquation avec la revendication de mettre en place une hiérarchie fonctionnelle avec des sous-centres relativement autonomes pour limiter les déplacements (Fouchier 1995). On retrouve un tel principe également chez Calthorpe (1993) dans son concept du « Transit Oriented Development ». Si certains auteurs ont souligné que les consommateurs ne choisissent pas nécessairement les aménités les plus proches (Clark 1968), il faut être conscient que le surdéveloppement du réseau routier favorise un tel « tourisme commercial ». C'est la raison pour laquelle le réseau de transport en commun que nous proposons n'a aucune branche circulaire afin d'éviter de mettre en compétition des centres de même niveau – nous plaçons plutôt pour une compétition interne à chaque centre et ne favorisons pas des contournements qui servent à la desserte locale.

En outre le système spatial proposé articule de façon efficace les zones construites et le paysage ouvert et assure ainsi une bonne accessibilité à un système emboîté de trames vertes et bleues qui assure ainsi une bonne accessibilité aux zones de loisirs qui pourront également accueillir des zones d'agriculture urbaine, de jardin, partagés etc. Ces couloirs verts sont connectés et évitent ainsi une fragmentation des zones naturelles ce qui est favorable à la biodiversité. Le système des couloirs verts correspond à des couloirs de ventilations importants pour éviter les îlots de chaleur van Hove et al. (2015), Hamada and Ohta, (2010)).

### 6.2.1. Le zonage **fractalopolis**

Dans le modèle nous distinguons deux types de zones, les zones privilégiées pour un futur développement, désigné comme *zones de développement* qui seront les zones de la fractale, et les zones pour lesquelles un faible développement, un gel de développement voire d'éventuelles déconstructions sont préconisées, *ce sont les zones préservées* ou lacunes, selon la terminologie de la géométrie fractales. En affectant une part de la population aux zones protégées, donc aux « lacunes » nous élargissons le modèle par rapport à la géométrie fractale.

Le zonage se construit par étapes d'itération, conformément à la logique fractale sous-jacente. On définit d'abord une zone carrée qui correspond à la zone d'étude, par exemple le Grand Paris. La première étape est cruciale. Elle définit le rapport entre une zone carrée centrale qui correspond au centre principal (ordre 1) et un nombre  $N$  de sous-centres carrés (ordre 2). Lors de la prochaine étape cette figure est ensuite appliquée à chaque carré (figure 52)



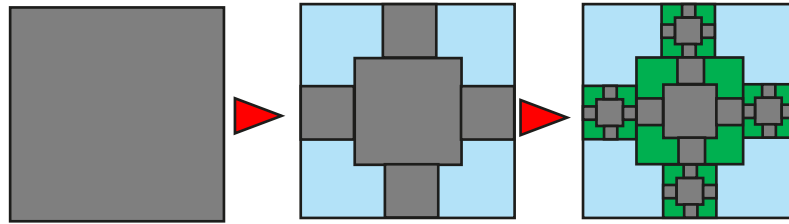


Figure 52 : La construction du zonage par itération

En ajoutant à chaque étape plus de détails sur les zones à développer, on découpe de nouveau des zones à protéger. Ainsi on augmente à chaque étape la quantité de zones préservées, si bien que l'étendue des zones de développement sont de plus en plus réduite. Toutefois nous distinguons les zones préservées selon l'étape d'itération par lesquelles elles ont été générées. Pour les zones en vert foncé, situé plus proche des zones de développement nous admettons, en général, un développement plus important que pour les zones plus éloignées.

Naturellement, la figure 51 présente un système régulier caricatural ; ce concept d'aménagement est appliqué avec un logiciel interactif, **fractalopolis**<sup>105</sup>, qui permet d'ajuster les différentes zones à l'urbanisation existante. L'approche conserve un aspect normatif dans l'organisation des zones les unes par rapport aux autres, mais permet de s'adapter à des territoires réels (Figure 53).

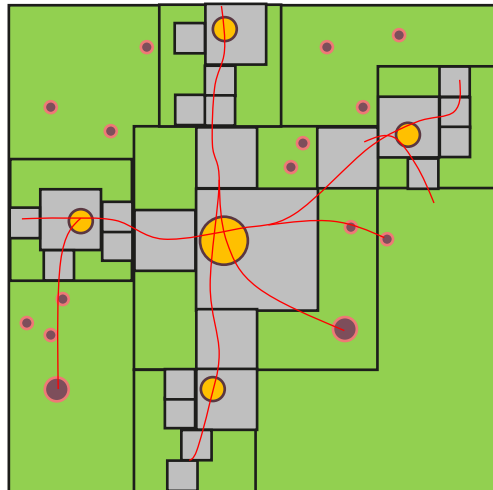


Figure 53: Déformation du tapis de Sierpinski pour s'adapter à un territoire

## 6.2.2. Le système de codage et le modèle de répartition des ménages

Chacune de ces étapes spatiales est aussi liée à une échelle fonctionnelle. Ainsi la zone carrée du départ correspond à l'aire de chalandise du centre principal pour les services de plus haut niveau. Les carrés correspondant sous-centres d'ordre 2 générés à la première étape d'itération correspondent aux services plutôt de fréquentation mensuelle. Ils assument cette fonction pour les sous-centres d'ordre 3 générés à la prochaine étape étant situé à l'intérieur de la zone carrée précédemment générés (figure 54).

<sup>105</sup> <https://sourcesup.renater.fr/fractalopolis/>, logiciel développé par Gille Vuidel, conception Pierre Frankhauser et Gilles Vuidel avec la contribution de Cécile Tannier.

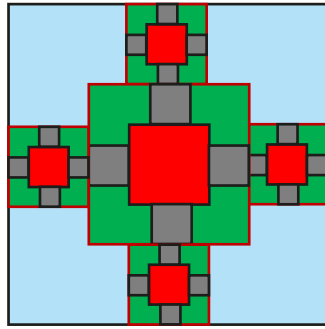


Figure 54 : les zones de chalandise d'ordre deux, entouré de traits rouges, est les centres correspondants, indiquées en rouge. Le centre principal assure évidemment aussi cette fonction

Nous avons introduit un système de codage qui est en cohérence avec l'itération et qui rend compte des fonctions associées. Ainsi nous désignons le centre principal par « 1 » et les quatre carrés des centres d'ordre 2 par « 0 ».

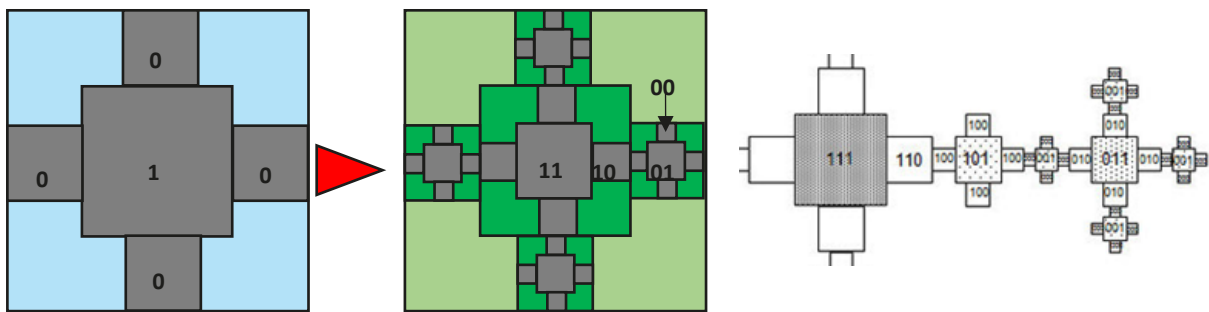


Figure 55 : système de codage ; le passage de la première étape d'itération à la deuxième et l'axe « Est » de la troisième étape d'itération

A l'étape suivante on obtient ainsi des codes à deux chiffres en ajoutant à droite les codes « 0 » ou « 1 » correspondants à la position des carrés par rapport à la zone de chalandise dont ils font partie (figure 55).

Le modèle a été complété par un modèle de concentration des ménages. La figure 56 montre la logique.

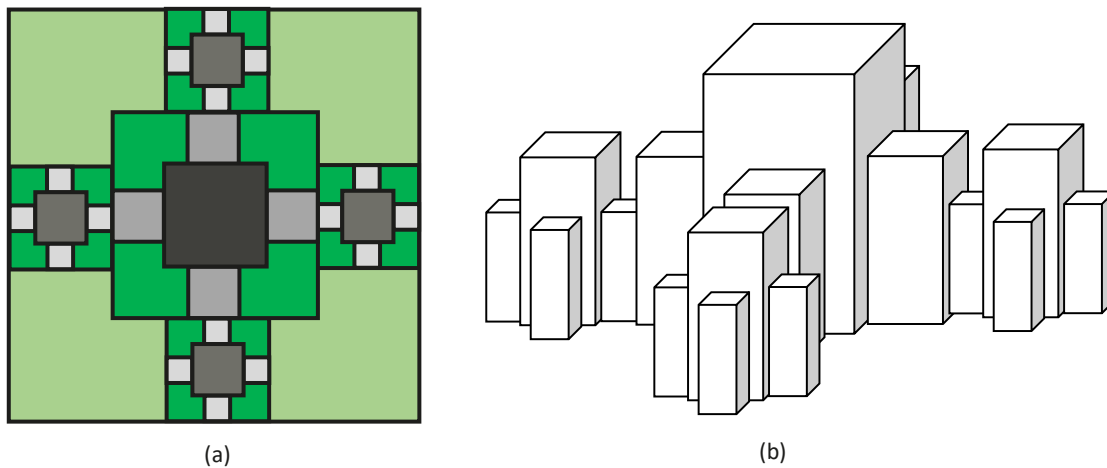


Figure 56 : le principe de la répartition de la population (cf. texte)

On affecte une part importante  $\alpha$  au système de villes et la part complémentaire  $1-\alpha$  aux lacunes générées lors de la première étape, représentées en vert clair sur la figure 56 (a). Il s'agit de zones éloignées du centre principal et cette part sera donc faible. Formellement nous obtenons

$$p = \alpha p + (1 - \alpha)p = p_{dév(1)} + p_{prot(1)}$$

$$p_{dév(1)} = \alpha p$$

$$p_{prot(1)} = (1 - \alpha)p$$

Pour les lacunes générées lors de la deuxième étape (en vert clair) on peut choisir une part  $1-\beta$  légèrement plus importante et pour la troisième étape on aurait une part  $1-\gamma$  pour les zones rurales les plus proches du centre principal. La formalisation suit le même principe.

Pour le système de villes, on assouplit également le modèle en admettant qu'il est possible de modifier les parts affectées aux centres principaux et aux centres secondaires à chaque étape. On introduit ainsi des poids  $a_1$  et  $a_0$  lors de la première étape, des points  $b_1$  et  $b_0$  lors de la deuxième étape etc. Ainsi on obtient pour la première étape la relation

$$p_{urb(1)} = (a_1 + v a_0)\alpha p = p_{dév_1} + v p_{dév_0}$$

$$p_{dév_1} = \alpha a_1 p$$

$$p_{dév_0} = \alpha a_0 p = \alpha \left( \frac{1 - a_1}{v} \right) p$$

où  $v$  est le nombre de sous-centre, donc  $v = 4$  dans notre modèle théorique. Dans les étapes suivantes, les facteurs se mélangent de sorte qu'on obtient pour la troisième étape, en tenant compte de la part affectée aux zones rurales, le tableau 6. Nous avons donné un exemple de valeurs qui ont été utilisés dans des applications réelles.

code	Parts de la population pour chaque ville du niveau
111	$\alpha\beta\gamma a_1 b_1 c_1$
110	$\alpha\beta\gamma a_1 b_1 c_0$
100	$\alpha\beta\gamma a_1 b_0 c_0$
011	$\alpha\beta\gamma a_0 b_1 c_1$
010	$\alpha\beta\gamma a_0 b_1 c_0$
001	$\alpha\beta\gamma a_1 b_0 c_0$

paramètre	valeurs (exemple)
$\alpha$	0,995
$\beta$	0,985
$\gamma$	0,975
$a_1$	0,92
$b_1$	0,95
$c_1$	0,98

Tableau 6 : le modèle de population et un exemple des valeurs de poids (cf. texte)

La figure 56 (b) montre le principe de répartition dans le système urbain à deux étapes d'itération dans une version simplifiée pour laquelle les facteurs de répartition sont les mêmes pour les deux étapes donc  $a_1 = b_1$ ,  $a_0 = b_0$ . On constate qu'il y a bien une diminution de la population en s'éloignant du centre principal, mais qu'il y a en même temps un principe d'emboîtement qui se superpose et qui crée une alternance entre zone plus et moins concentrées. Ceci aide à éviter la monotonie des espaces urbanisés.

A travers le choix des poids  $a_1$ ,  $a_0$ ,  $b_1$ ,  $b_0$ ... on peut générer un système avec un poids plus ou moins fort des sous-centres. Les conditions suivantes correspondent à un système hiérarchisé

$$a_1 > a_0$$

$$b_1 > a_1$$

$$b_1 > b_0$$

$$c_1 > b_1$$

En revanche pour un système qui tend plus vers une décroissance plus monotone en s'éloignant du centre

$$b_1 > c_1$$

$$a_1 > b_1$$

$$a_1 > c_1$$

La figure 57 illustre les deux situations en considérant l'axe de développement « Est » de la figure 56.

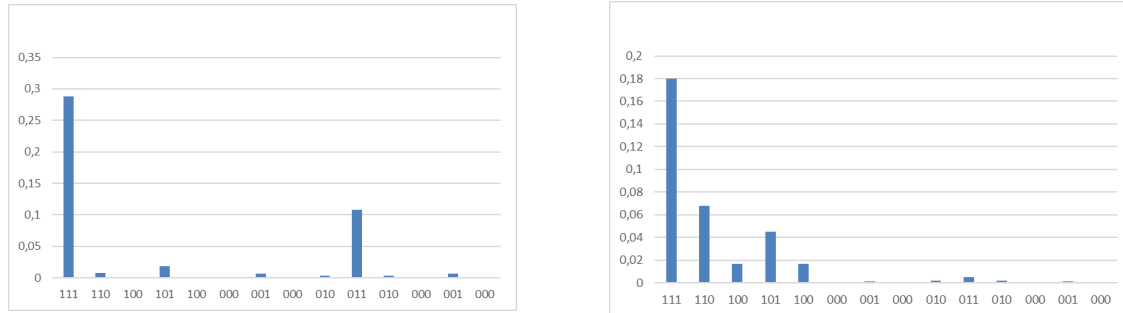


Figure 57 : Deux exemples de la répartition des ménages le long d'un axe principal. L'exemple à droite s'approche plus d'un modèle de décroissance axiale, l'autre modèle est strictement hiérarchisé.

Cependant il n'est pas possible de générer un système avec un gradient de décroissance monotone de densité ce qui serait en contradiction avec le système d'emboîtement de la géométrie fractale.

Dans les simulations nous considérons la répartition du nombre de logements ce qui nous permet aussi de revenir à la mesure couramment utilisée en aménagement, la densité de logements par hectare.

### 6.3. Approche par l'accessibilité

La liste des aménités ou lieux dont l'accès est important et valorisé par les usagers du territoire ne se limite pas aux commerces, services, emplois et équipement.

L'accès direct à la nature, à des zones de plus faible densité, aux zones aquatiques est à la fois important pour rendre des services éco-systémiques (Angold et al 2006, Savard et al 2000, Qureshi et Breuste 2010), lutter contre les îlots de chaleur (Kuttler 2011, Sachsen et al 2013, Kong et al 2014), préserver, voire renforcer, les trames vertes et bleues (Bryant, 2006), mais est aussi plébiscité dans les enquêtes auprès des ménages (Hobden, 2004) et dont l'effet bénéfique pour la santé a été démontré (Ward Thompson C. et al. 2012, 2014).

Nous choisissons donc pour le diagnostic territorial un cadre spatial d'analyse qui par construction, de manière un peu normative, présente ces caractéristiques. Le choix du zonage multi-échelle fractal ne répond pas seulement à la volonté d'évaluer les accessibilités à toutes les échelles, mais aussi à une certaine optimisation de l'utilisation du territoire, dans un contexte de consommation toujours croissante de terres agricoles, d'espaces naturels, soit d'artificialisation des sols.

L'approche fractale, telle qu'elle est utilisée, permet de concevoir un schéma d'aménagement qui, par définition, considère l'ensemble des échelles mais qui se construit par étapes. Il est ainsi possible d'affiner un zonage uniquement sur certaines régions du territoire, en fonction des zones d'étude, tout en gardant la cohérence globale. Le recensement précis des aménités associées se fait alors uniquement pour cette ou ces zones. On garde ainsi une cohérence globale d'une zone métropolitaine sans pour autant être obligé de travailler conjointement au même niveau de détails pour l'ensemble du territoire en question.

Le système de zones de développement forme de préférence un ensemble connexe à travers les échelles si on veut éviter le morcellement du bâti et utiliser au mieux les infrastructures de transport. Il est ainsi préconisé de choisir la localisation des zones de développement telles qu'elles forment un système axial emboîté, dont les axes coïncident avec ceux des réseaux de transport en commun afin de favoriser leur utilisation.

Ce système est articulé à travers les échelles par un ensemble connecté de trames vertes et bleues qui assure une bonne ventilation des centres urbains et réduit le risque d'îlots de chaleurs qui sont une autre conséquence néfaste d'une ville compacte (Kuttler 2011, Sachsen et al 2013, Kong et al 2014). En outre un tel système connecté de trames vertes favorise la biodiversité car il évite les coupures des couloirs de déplacement des animaux (Briant 2006). Pour les ménages, la présence de trames vertes assure une bonne accessibilité à des zones vertes de proximité, participant à la qualité paysagère.

Les zones de développement sont de tailles différentes et leur nombre est lié à leur taille selon une logique hiérarchique générée au cours des étapes successives. Ainsi les zones de taille importante qui concentrent les fonctions centrales sont entourées de zones de taille plus réduite qui assurent uniquement les besoins plus élémentaires.

Cependant, la fonction d'une zone n'est pas uniquement liée à sa taille, mais à sa taille et sa position dans l'agglomération. Une banlieue proche d'un centre urbain peut avoir la même taille qu'un centre secondaire plus éloigné, mais ne jouera pas le même rôle dans l'agglomération, et ne devra donc pas disposer des mêmes aménités.

### 6.3.1. Accessibilité à la Hansen

Nous adoptons pour SOFT une approche classique de la définition de l'accessibilité, reprenant la formulation de Hansen (1959) correspondant à une approche par modèle gravitaire ou encore une approche économique de calcul de surplus socio-économique à la McFadden. L'évaluation des stratégies d'aménagement et de transport par les accessibilités est une méthode largement employée et présentant de nombreux avantages, comme l'ont relevé Geurs et van Wee dans une revue de littérature (2004).

L'accessibilité depuis un point donné est calculée comme la somme des destinations d'intérêt accessibles à partir de ce lieu, chaque aménité étant pondérée négativement par sa facilité d'accès, mesurée comme une distance, un temps de parcours, ou un coût généralisé.

Le grand intérêt de cette approche est de ne pas se focaliser uniquement sur les trajets domicile-emploi, certes dimensionnant en grande partie les flux routiers et transports en commun à l'heure de pointe du matin, mais peu révélateurs du fonctionnement et des potentialités d'une zone, de son attractivité, et des raisons qui conduisent les habitants et les activités à s'y installer. L'accessibilité représente un potentiel plutôt qu'une demande de mobilité observée. L'évaluation de l'accessibilité correspond d'ailleurs assez bien à l'argumentaire des promoteurs, qui vantent dans leur communication la proximité à la nature, aux écoles, aux commerces et aux transports en commun.

C'est un calcul qui doit être fait pour chaque point du territoire étudié ; dans la pratique, il est souvent réalisé pour des zones. Il importe donc que ces zones présentent une certaine unité, ou du moins des caractéristiques communes. Une version totalement désagrégée du calcul est bien entendu réalisable, mais l'agrégation est nécessaire pour visualiser les résultats et caractériser des zones entières, comme par exemple des ZAC.

La difficulté principale de la mise en œuvre des calculs d'accessibilité réside dans la sélection des destinations potentielles à inclure dans le calcul, ainsi que dans la calibration des fonctions de coût d'accès aux destinations. Dix minutes de plus peuvent être sensibles pour accéder à une boulangerie, quand une demi-heure de plus aura peu d'impact lorsqu'on se rend à l'opéra. Il n'est d'ailleurs pas clair de savoir pourquoi on inclurait les boulangeries ou l'opéra dans le calcul. Nous nous référons donc à une approche plus générale, la théorie des besoins développée par Max-Neef (1991) qui identifie les besoins des individus d'un point de vue anthropologique, et clarifie les liens entre les aménités et services et les besoins essentiels des individus. Ceci permet d'associer à des besoins différentes aménités (Bonin et Frankhauser 2014), dont beaucoup seront localisées (commerces, services, hôpitaux, zones de loisir, etc.) selon le contexte culturel et local du territoire, et de faire des hypothèses sur leur fréquentation et leur degré de proximité nécessaires pour obtenir le bien-être des habitants.

Il est ainsi possible d'établir une typologie hiérarchique des aménités, qui sera idéalement mise en concordance avec une structure spatiale hiérarchique que nous proposons dans un concept d'aménagement multi-échelles. Une bonne adéquation entre la hiérarchie fonctionnelle du territoire et la répartition des aménités permet de satisfaire au mieux les besoins de ses habitants en limitant les mobilités excessives.

Nous allons donc détailler les trois éléments clés de notre méthode de diagnostic d'accessibilité : le zonage multi-échelle, la sélection des aménités et destinations à considérer, ainsi que les fonctions de coût d'accès à ces destinations.

### 6.3.2. Introduction d'un zonage multi-échelle pour le calcul des accessibilités

Si le calcul de l'accessibilité peut se faire en tout point du territoire, de manière totalement désagrégée spatialement, ce calcul n'est pas suffisant pour révéler une organisation spatiale du territoire et son fonctionnement ainsi que sa perception par différents types d'acteurs.

L'organisation spatiale du territoire existe à travers des îlots, des blocs, des ensembles de bâtiments, à travers des quartiers, dont les limites ne sont pas recensées sur des cartes mais généralement perçues de manière similaire par leurs habitants, des communes, ayant des prérogatives en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire, des établissements intercommunaux, comme Est Ensemble, et enfin des départements et des régions. Pour autant, ces limites ne sont pas nécessairement celles qui sont pertinentes pour délimiter des bassins de vie des ménages ou des aires de chalandise des commerces et services.

Il ne serait pas nécessairement pertinent de calculer des accessibilités pour l'ensemble de ces échelles, mais cette organisation plus ou moins hiérarchique, avec des échelles en partie emboîtées, correspond assez bien à notre pratique de la mobilité et du territoire. Nous arpentons notre quartier pour les commerces de proximité, nous déplaçons un peu plus loin pour accéder à des services plus rares, et de temps en temps utilisons des services encore plus rares comme ceux d'un aéroport. Chacun de ces services a ainsi une zone d'attraction, ou une aire de chalandise, de taille différente en fonction de sa rareté et sa fréquence de recours. Il est utile que le zonage utilisé pour l'évaluation des accessibilités soit pertinent tant du point de vue des individus (demandeurs de services) que des offreurs des services considérés. Étant donnés les différents services à considérer, il est nécessaire que chaque point de l'espace appartienne à plusieurs zones, correspondant à ces différents services de rareté variable.

A cette échelle, la fonction de coût généralisé de transport est basique : on considère l'unique présence des équipements et services sans introduire les distances d'accès car ces aménités sont rarement fréquentées, et ce qui importe est de pouvoir en bénéficier. En passant aux étapes suivantes, donc en allant vers le local, les services et commerces sont ajoutés en fonction d'une hiérarchie des besoins et évalués en prenant en compte les distances aux services et commerces les plus proches pour chaque site, critère non négligeable dans le choix résidentiel (Lerman 1976) et concernant la consommation d'énergie à travers les distances parcourues (Cervero 1996). En dernier lieu sont pris en compte les services et commerces nécessaires au quotidien. Ainsi, à chaque échelle spatiale correspond un jeu de règles d'accessibilité.

Travailler dans un cadre multi-échelle, et en introduisant en grand nombre de destinations potentielles nécessite de construire une fonction de synthèse des mesures d'accessibilité. Cette synthèse peut utiliser le nombre de destinations accessibles, éventuellement par catégories, et la diversité des types de services et aménités. Des opérateurs de logique floue servent à réaliser cette agrégation pour fournir une ou plusieurs mesures synthétiques d'accessibilité pour les zones considérées (Tannier et al 2012, Yamu et Frankhauser 2015).

De façon similaire l'accès à des zones récréatives est pris en compte. Pour ces zones, une logique hiérarchique est également utilisée : des espaces verts de taille modeste doivent être accessibles dans l'environnement immédiat des zones habitées, mais des espaces de taille plus importante, qui offrent d'autres types d'activités, sont à considérer dans un périmètre élargi.

En outre, on eut également prendre en compte des critères morphologiques tels que la proximité aux espaces déjà urbanisés, les distances entre les zones de développement et leur arrangement spatial, afin de caractériser les différentes trames vertes en fonction de leur taille et de leur capacité à pénétrer les zones bâties.

Tout ou partie de ces évaluations peuvent être synthétisées, en fonction des intérêts de l'étude, et permettent de disposer d'une évaluation du positionnement des zones de développement préférentiel en fonction des critères introduits dans le diagnostic : forme urbaine (dont densité d'habitants et de logement), accessibilité, trames vertes et bleues.

La définition des zones de développement et des zones préservées à chaque étape est manuelle, effectuée par l'analyste en fonction de la situation réelle du territoire. Le logiciel d'évaluation **fractalopolis** aide l'analyste à respecter la cohérence entre les échelles d'analyse. En cas d'une mauvaise évaluation d'une zone, il est bien entendu possible de changer le positionnement de cette dernière et d'obtenir la réévaluation de l'accessibilité ou bien de mettre en évidence un manque de services.

L'objectif de cette méthodologie d'évaluation de l'accessibilité n'est pas de déterminer un éventuel optimum pour la zone, mais dans un premier temps d'aider à évaluer les projets existants, et dans un deuxième temps d'explorer différents scénarios de prolongement ou de modification de ces projets.

La focalisation sur les mesures d'accessibilité, notamment celles à des services de fréquentation régulière, vient du constat que plus d'un quart des consommations énergétique d'un territoire (27% pour Est Ensemble) vient des mobilités : il est donc important de comprendre quelles sont les besoins de mobilité, et les potentialités du territoire pour satisfaire ces besoins, ce qui est précisément l'approche par les mesures d'accessibilité à la Hansen.

L'évaluation des accessibilités incite à proposer des scénarios de développement dont l'objectif est d'assurer une bonne accessibilité aux services, commerces et zones de loisir en respectant la hiérarchie des besoins. En prenant ainsi en compte la fréquence de recours, les distances acceptables et l'emboîtement des échelles, on tend à minimiser les distances parcourues sans pour autant imposer des programmes d'activités trop restrictifs ou trop statiques.

### **6.3.3. Sélection des destinations et des aménités : grille d'analyse croisant besoins et aménités à différentes échelles spatiales et temporelles**

Le choix d'une approche centrée sur les individus nécessite de définir des programmes d'activités type des individus, que ces activités entraînent ou non des déplacements, puisque les consommations d'énergie liées aux activités sur place nous intéressent au même titre que celles liées à la mobilité.

Il est nécessaire ici aussi d'introduire une approche un peu normative, devant l'impossibilité matérielle et intellectuelle de simuler des comportements représentatifs des pratiques des habitants d'un territoire. Plutôt que de nous appuyer seulement sur des enquêtes, comme les enquêtes ménages-déplacements (EGT pour l'Île-de-France) ou l'enquête emploi du temps de l'INSEE, nous avons choisi d'introduire la notion de besoin essentiel ou élémentaire pour les individus, à partir des travaux de l'économiste Manfred Max-Neef (1991), qui propose une théorie des besoins dans la lignée de celle de Maslow (1954).

Dans son livre *Human Scale Development*, Max-Neef identifie clairement trois concepts qui sont à la base de notre approche de sélection des destinations à retenir pour les calculs d'accessibilité.

Le premier concept est celui de besoin, qui est universel, partagé par tous les êtres humains, et donc relève d'une approche anthropologique. Pour Max-Neef, les besoins fondamentaux sont les suivants : subsistance, protection, affection, compréhension, participation, loisir, créativité, identité et liberté. Chaque besoin, général, peut ensuite être décliné de manière plus précise. Des études empiriques (Ryff et Keyes 1995, Ryan et Deci 2000, Tay et Diener 2011) ont montré le bien-fondé d'une approche par besoins essentiels.

Le deuxième concept est celui de *satisfier*, qui n'a pas d'équivalent direct en français. Ce concept est très puissant pour Max-Neef, puisqu'il distingue entre les *satisfiers*, les *pseudo-satisfiers*, les *inhibiting satisfiers*, *singular satisfiers*, et *synergetic satisfiers*. Ces *satisfiers* dépendent du contexte culturel, et pour certains nécessitent d'accéder à des biens ou des services localisés sur le territoire.

Le troisième concept est celui de biens physiques et de services, qui doivent être accessibles pour jouer le rôle de *satisfiers*. C'est généralement cette dimension qui est abordée dans les études d'accessibilité, sans recourir explicitement aux besoins et aux *satisfiers*.

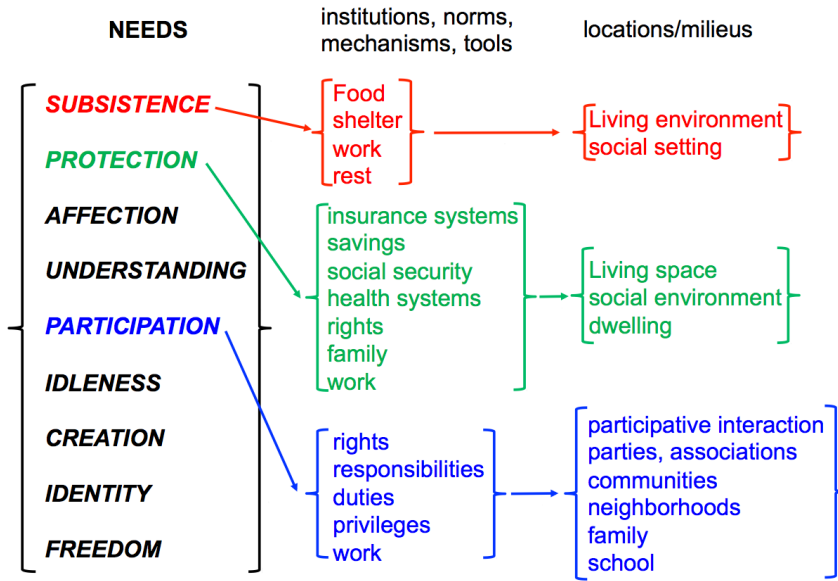


Figure 58 : Liens entre besoins, satisfiers, ainsi que biens et services (sélection)

Nous avons établi des grilles de correspondance entre besoins, *satisfiers* et aménité (Figure 58). Naturellement, un service peut satisfaire plusieurs besoins, et plusieurs services sont nécessaires pour satisfaire complètement un besoin.

Pour le cas de l'agglomération parisienne, nous avons utilisé nos grilles de correspondance pour sélectionner les aménités à considérer à chaque échelle spatiale (Tableau 7), ainsi que la fonction de coût d'accès à utiliser. Ces aménités correspondent ensuite à une sélection du fichier SIRENE mis à disposition par l'INSEE et géocodé de manière collaborative.

Iteration step ⇨			Step 0			Step 1			Step 2		
Offer ⇩	Level ⇨		1			2			3		
Code			Div	Nm	dist	Div	Nm	dist	Div	Nm	dist
1111	P	Central public administration	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext
1111	P	University, high level special education + research	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext
1111	P	Hospitals	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext
1111	P	High level cultural centers (opera, theatre, museum...)	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext	G1P	-	Ext
1111	S	First class department stores (Lafayette...)	G1S	X	Ext	G1S	X	Ext	G1S	X	Ext
1111	S	Luxury outlets	G1S	X	Ext	G1S	X	Ext	G1S	X	Ext
*	P	Forests, River side and wetlands	-	-	-	GN1	-	X	GN1	-	X
*	P	Mountains, hills, landscape	-	-	-	GN1	-	X	GN1	-	X
1101		- néant -	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	- néant -	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
1101		Regional public administration (sous-préf...)	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	high school	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
1101		high school	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
1101		specialist doctors	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	specialist doctors	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
1101		Hospitals, specialist doctors	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	Hospitals, specialist doctors	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
1101		cultural centers (opera, performance hall, cinema, local museum...)	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	- néant -	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext
10110111	P	cultural centers (opera, performance hall, cinema, local museum...)	-	-	-	G2P	-	Ext	G2P	-	Ext



1101		Shopping mall, hypermarket, DIY, garden center	-	-	-	G2S	X	X	G2S	X	X
10110111	S	- néant -									
1101		Shopping mall, hypermarket, DIY, garden center	-	-	-	G2S	X	X	G2S	X	X
10110111	S	Specialized shops (optical center, jewels, clothes)									
10110111	S	Specialized shops (optical center, jewels, clothes)									
10110111	S	Specialized shops (optical center, jewels, clothes)									
1,0	S	Golf, water sport, large parks, zoo	-	-	-	GN11	X	X	GN11	X	X
11,10,01,00		Local woods, prairies, parks (castles)									
1001		- néant -							G3P		X
0101	S	- néant -									
0011		Swimming pools, ice skating, gymnasiums, sports centers									
1001		Secondary school	-	-	-	-	-	-	G3P	-	X
0101	P	Secondary school									
0011		Secondary school									
1001		Post office, bank, library	-	-	-	-	-	-	G3P	-	X
0101	P	Post office, bank, library									
0011		Post office, bank, library									
1001		place of worship	-	-	-	-	-	-	G3P		X
0101	P	place of worship									
0011		place of worship									
1001		Doctor, pharmacy, local medical centers	-	-	-	-	-	-	G3P	-	X
0101	P	Doctor, pharmacy, local medical centers									
0011		- néant -									
1001		hairdresser, florist, butcher, fish shop, clothes shop	-	-	-	-	-	-	G3SA	X	-
0101	S	hairdresser, florist, butcher, fish shop, clothes shop									
0011		- néant -									
1001		Restaurants, café	-	-	-	-	-	-	G3SA	X	-
0101	S	Restaurants, café									
0011		Café									
1001		Car repair	-	-	-	-	-	-	G3SA	X	-
0101	S	Car repair									
0011		- néant -									
1001		farmer's market	-	-	-	-	-	-	G3SB	X	-
0101	S	farmer's market									
0011		farmer's market									
1001		- néant -	-	-	-	-	-	-	G3SB	X	X
0101	S	Supermarket									
0011		- néant -									
XYZ	P	Local parks, squares, playgrounds									
0001	S	Newsagents, cashmachine									
		Snackbar, bar									
XYZ0	S	Bakery, grocery, tobacconist	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Access – "metric"									
		RER, regional train	Level 1			Level 2			Level 3		
		Bus, tramway, subway	G2,PG1S			G1P,G1S,GN1,G2P,GN11,G2S			G1P,G1S,GN1,G2P,GN11,G2S		
		Road	G1P,G1S			G1P,G1S,G3,G2P,GN11,G2S			GN1,G2P,GN11,G2S,G3P,G3SA, G3SB		
		Bicycle							G1P,G1S,G3,G2P,GN11,G2S,G3P, G3SA, GN3SB		
		Pedestrian							G3P		
		Road distance of element									

### 6.3.4. Élaboration d'une typologie hiérarchisée des aménités

Pour **fractalopolis**, nous avons identifié 4 niveaux hiérarchiques d'aménités en complétant nos connaissances par une étude de nombreux documents d'aménagement et de planification. Plus particulièrement, les Schémas de cohérence territoriale (SCoT) nous renseignent sur les caractéristiques et les effets des commerces et services selon la fréquence de leur utilisation et leurs niveaux de fonction dans l'armature urbaine. L'enjeu pour les pouvoirs publics est de tenter de faire figurer une offre bien adaptée vis-à-vis des besoins, à la fois pour couvrir la demande de la population, mais également dans une logique de complémentarité et d'équilibre de l'offre sur le territoire. Ils disposent pour cela d'outils de planification comme les Documents d'Aménagement Commercial (DAC) ou les Documents d'Orientations et d'Objectifs (DOO) qui préconisent un ensemble de principes et de stratégies en matière de développement commercial, adaptés à la nature du territoire d'application. En complément des informations apportées par les documents d'urbanisme, nous avons tenu compte d'autres propositions de classement comme la base permanente des équipements de l'INSEE (2019), les enquêtes de consommation et de mode de vie du CREDOC ou la démarche exploratoire de hiérarchisation des équipements en Île-de-France de L'Institut Paris Région (2008).

Cette revue de littérature nous a permis de sélectionner un ensemble de commerces et services répartis selon quatre niveaux hiérarchiques. Ces niveaux ont été définis selon différents critères comme la fréquence de recours, la demande de proximité et les contraintes d'implantation dans l'armature urbaine. Les équipements pris en compte dans cette étude peuvent être définis comme des « lieux physiques qui supposent un déplacement en dehors du domicile, qui sont susceptibles d'accueillir du public, et dans lesquels il est possible d'accéder à des services » (A'urba, 2017). Cette définition est volontairement englobante pour s'intéresser à l'ensemble des sites physiques dans lesquels la population peut se rendre, quel que soit le type d'offre (commerciale, santé, scolaire, culturelle...). Les services n'impliquant que le déplacement des fournisseurs d'offres (électriciens, plombiers, etc.) ont été exclus.

- Niveau 4 : Il comprend les commerces et services dont la demande de proximité est la plus forte. Leur fréquence d'usage est quotidienne. Les déplacements générés par les utilisateurs ne sont pas nécessairement longs, mais nombreux et fréquents. On y trouve les boucheries-charcuteries, les boulangeries, les tabac/journaux, les commerces d'alimentation générale, les commerces de détail de journaux, les écoles maternelle et primaire.
- Niveau 3 : Ces aménités sont également associées à des questions de proximité, mais correspondent à des équipements ayant une aire de chalandise plus large. Dans le cas des services de santé, la facilité d'accès doit être garantie malgré une fréquence d'usage plus faible. Sont pris en compte les supérettes, les supermarchés, les stations-service, les magasins de bricolage en petite surface, les commerces de détail d'habillement en magasin spécialisé, les bureaux de poste, les restaurants, les agences bancaires, les pharmacies et les médecins généralistes.
- Niveau 2 : Il comprend des équipements dont la fréquence d'usage est plus occasionnelle ou des commerces dont l'utilisation est fréquente mais dont la taille des infrastructures ne permet pas une implantation de proximité. Nous y avons sélectionné les commerces de produits surgelés, les hypermarchés, les magasins de fruits et légumes, les magasins de bricolage en grande surface et les drives.
- Niveau 1 : Il s'agit des aménités dont la fréquence de recours est la plus rare et l'aire de chalandise la plus grande. Même s'ils sont peu fréquents par ménage, ces achats peuvent générer des déplacements de longue distance. Ce niveau comprend les grands magasins, les commerces de détail de maroquinerie, les horlogeries-bijouteries, les cinémas, et les hôpitaux.

Comme pour les commerces et services, les espaces verts, naturels et de loisirs ont fait l'objet de nombreuses études pour traiter la question de leur hiérarchisation et évaluer leur niveau de proximité.

Fondamentalement, les normes d'accessibilité relatives aux espaces verts dépendent de leurs degrés d'attraction. Dans la pratique de la planification, l'attrait est souvent mesuré en termes de surface (hectares ou mètres carrés) (Stähle, 2009). En effet, plusieurs études soutiennent que l'aire de chalandise d'un parc est proportionnelle à sa taille (Liu and Li, 2010 ; Feng et al., 2019) et la superficie reste la valeur la plus employée par les urbanistes pour construire des typologies hiérarchisées des espaces verts. Nous pouvons notamment citer l'*Accessible Natural Greenspace Standards* (ANGSt) qui normalise les

distances d'accès satisfaisantes aux espaces verts au Royaume-Uni selon une hiérarchie basée sur la superficie (English Nature, 2011) :

- Niveau 1 : Un site de 2 ha à moins de 300 m du domicile ;
- Niveau 2 : Un site de 20 ha à moins de 2 km ;
- Niveau 3 : Un site 100 ha à moins de 5 km ;
- Niveau 4 : Un site de 500 ha à moins de 10 km.

Néanmoins, l'attractivité d'un espace vert et de loisirs peut être associée à d'autres facteurs non moins importants comme les types d'usages et la diversité des activités proposées aux visiteurs (Ballion et Granjean, 1982 ; Bussey, 1995 ; Sugiyama et al., 2010). Nous pouvons retrouver une typologie fondée sur la superficie et l'usage des espaces verts dans le *National open space guidelines* (Boverket 1999) recommandé par le gouvernement suédois et repris en 2005 par la ville de Stockholm pour sa politique de développement des espaces verts (Tableau 8).

Green space type	Min. size	Max. distance	Specifications
<b>Pocket parks</b>	-	< 50 meter	Green space
<b>Local parks</b>	> 0,3-0,6 ha	< 200 meter	Green space, play area
<b>District parks</b>	> 10-20 ha	< 500-800 meter	Green space, play area, peace & quite, recreational activities
<b>Nature areas</b>	> 1000 ha	(< 1000 meter)	Wilderness, play area, peace & quite, recreational activities

Tableau 8 : *National open space guidelines* (Boverket, 1999 ; Ståhle, 2009)

La prise en compte des espaces verts urbains dans la littérature englobe habituellement les squares et jardins publics, les parcs et les espaces boisés et naturels. Dans le cadre des politiques de planification, il est nécessaire de se concentrer sur les espaces verts urbains ouverts au public, en particulier lorsque l'on envisage un accès universel à ces espaces pour tous les habitants, indépendamment de leur situation socioéconomique (WHO Regional Office for Europe, 2016). Néanmoins, il peut être intéressant d'adopter une définition plus large ou plus inclusive des espaces verts en tenant compte des aménités privés ou semi-privés susceptibles d'accueillir un public plus restreint. Nous pouvons notamment citer les jardins familiaux et jardins partagés dont la demande de proximité reste importante en milieu urbain dense, bien qu'ils soient considérés comme peu accessibles par les habitants (a'urba, 2020). Ces espaces collectifs restent nécessaires dans le cadre d'un urbanisme favorable à la santé publique, à la lutte contre les îlots de chaleur et au développement de l'agriculture urbaine. A ces espaces naturels, nous avons également inclus des équipements récréatifs en plein air comme les parcs sportifs et les aires de jeux pour enfants qui ont un rôle non négligeable dans l'offre de loisirs des territoires. Par précaution, nous avons exclu de notre sélection des équipements à l'accessibilité trop restreinte comme les terrains de golf ou des espaces dont la qualification en aménité verte ou la valeur d'accès sont floues, comme les rues arborées et les friches végétalisées.

La base de données « Espaces verts et boisés surfaciques, ouverts ou en projet d'ouverture au public d'Île-de-France » de L'Institut Paris Région (2019) est notre principale référence pour géolocaliser et qualifier la nature des espaces verts sur notre territoire d'étude.

Les types d'espaces verts et de loisirs recensés sont ainsi catégorisés et plusieurs informations leurs sont attribuées comme le statut d'ouverture au public ou la superficie (Tableau 9).

Catégorie générale	Type d'espace	Statut d'ouverture au public	Surface	Nombre d'unités sur le territoire d'Est Ensemble
<b>Espaces verts</b>	Square et jardin public	Ouvert	< 1-2 ha	126
	Parc de ville	Ouvert	1-100 ha	13
	Parc d'étang	Ouvert	< 1 – 20 ha	0
	Grand parc urbain	Ouvert	15-400 ha	2
<b>Espace boisé et naturel</b>	Espace naturel à caractère pédagogique	Ouverture restreinte	< 1-150 ha	1
	Espace boisé	Ouvert	< 1-800 ha	2

<b>Jardins collectifs/associatifs</b>	Jardin familial	Ouverture restreinte	< 1-10 ha	14
	Jardin partagé	Ouvert	< 1 ha	40
	Jardin d'insertion	Ouvert	< 1 ha	0
	Jardin thérapeutique	Ouverture restreinte	< 1 ha	0
	Autre jardin	Ouverture restreinte	< 1-2 ha	3
	Jardin non identifié (ou jardin potager)	Ouverture restreinte	< 1-2 ha	11
<b>Espace de loisirs</b>	île de loisirs régionale	Ouvert	60-200 ha	1
	île de loisirs	Ouvert	< 1 ha	1
	Parc sportif	Ouvert	< 1-10 ha	5
	Plaine de jeux	Ouvert	< 1-5 ha	4
<b>Parcs et jardins patrimoniaux</b>	Jardin botanique	Ouvert	< 1-30 ha	1
	Parc de château	Ouverture restreinte	1-100 ha	0

Tableau 9 : Typologie des espaces verts, naturels et de loisirs selon L'Institut Paris Région (2019)

Pour **fractalopolis**, nous avons fait le choix de combiner les facteurs de superficie, de nature des activités et de statut d'ouverture pour proposer une typologie des aménités vertes et de loisirs du territoire d'étude sur le même principe que les niveaux hiérarchiques introduits pour les commerces et services.

- Niveau 4 : ce niveau regroupe les squares, jardins publics et les plaines de jeux. Ce sont des petits espaces verts et récréatifs pour lesquels la proximité aux habitants des milieux urbains est essentielle.
- Niveau 3 : Nous y incluons les parcs de ville, les parcs d'étangs, les jardins familiaux et les parcs sportifs. Il s'agit d'espaces de surface intermédiaire ou d'équipements dont la nature des activités implique une distance d'accès plus grande. Les activités proposées supposent une fréquence de recours potentielle hebdomadaire (Frankhauser et al., 2007).
- Niveau 2 : Nous y avons sélectionné les grands parcs urbains, les espaces naturels à caractère pédagogique, les jardins partagés, les jardins thérapeutiques et les bases de loisirs. Dans la continuité des niveaux précédents, ces aménités peuvent attirer des visiteurs résidant au-delà de leurs abords de proximité. Grands parcs et bases de loisirs se caractérisent par la diversité de leurs activités et de leurs équipements. La fréquence de recours potentielle y est plus épisodique, souvent réservée aux sorties du week-end.
- Niveau 1 : Il comprend les espaces boisés, les jardins d'insertion, les bases de loisirs régionales, les jardins botaniques et les parcs de châteaux. Il s'agit d'aménités rares en milieu urbain dense et dont la valeur touristique implique une grande aire de chalandise.

Nos choix de classification vont notamment dans le sens des travaux menés par L'Institut Paris Région pour mesurer l'accessibilité à l'offre de proximité en Île-de-France (Mangeney, 2011). Les squares, jardins publics et aires de jeux sont qualifiés d'espaces verts d'hyper-proximité, les parcs à la superficie plus importante et les parcs sportifs représentent des espaces verts de proximité et les espaces verts de niveau supérieur incluent les grands parcs, bois et bases de loisirs.

### 6.3.5. Mesure synthétique de l'accessibilité

Afin d'évaluer dans le cadre des simulation **fractalopolis** la satisfaction des résidents par rapport à leur accès aux différents types d'aménités, nous avons introduit un cadre formel basée sur la théorie des besoins et les données sur la perception de l'accessibilité et les pratiques spatiales des ménages.

Nous avons défini différents types d'indicateurs qui permettent de renseigner l'utilisateur sur le degré de satisfaction des ménages. Ces indicateurs donnent une information synthétique à l'échelle de chaque zone de **fractalopolis**. Cette évaluation existe pour chaque étape d'itération. Même si pour l'instant les évaluations ne sont que disponible pour les zones de développement, le passage à l'étape d'itération précédente qui inclut les zones préservées de l'étape suivante permet d'avoir une information suffisante pour estimer la qualité de satisfaction. Les indicateurs sont calculés pour chaque niveau hiérarchique. Ainsi le niveau « 1 » correspond au niveau hiérarchique le plus élevé, et le niveau 4 à celui des satisfacteurs des

besoins élémentaires. Ils synthétisent d'un côté la qualité d'accès pour les « aménités urbaines », c'est-à-dire les services et commerces et de l'autre côté les aménités vertes et de loisir. Ils combinent trois éléments : pour chaque aménité est évalué la distance facile d'accès, donc l'aire d'accessibilité, le pourcentage des logements de la zone se trouvant dans cette aire d'accessibilité ainsi que l'importance de l'aménité pour la population. Cette importance est mesurée par le pourcentage de population qui fréquente ce type d'aménité. L'ensemble de ces informations sur toutes les aménités du niveau considéré est alors agrégé à l'échelle de la zone.

La formalisation est basée sur théorie des sous-ensemble flous comme dans les versions précédentes de **fractalopolis** (Tannier et al. [98]; Yamu and Frankhauser [18]). Cependant la formalisation choisie est bien plus transparente et simple. La formalisation se base sur les résultats des enquêtes. Conformément à la théorie des sous-ensembles flous nous attribuons à chaque aménité  $A$  un degré d'appartenance  $m_A(r_A)$  dont la valeur se situe entre *zéro*, correspondant à une totale insatisfaction et *un*, correspondant à une totale satisfaction. Pour l'évaluation de la distance  $r_A$  nous nous positionnons sur le site de l'aménité et traçons un cercle autour de celle-ci. Tant qu'on se trouve à une distance  $r_A$  perçue comme acceptable nous posons le degré d'appartenance  $m_A(r_A) = 1$ . Dès que nous atteignons une distance critique la satisfaction baissera et atteindra  $m_A(r_A) = 0$  pour une deuxième distance critique. Ces valeurs critiques peuvent être obtenues en considérant des résultats d'enquêtes tels que représentées dans la figure 59 (a) qui répertorie le pourcentage de personnes qui n'ont pas accès à l'aménité en raison de la distance d'accès.

Le deuxième facteur  $m_n(A)$  correspond à l'importance de l'aménité pour la population. Cette importance est mesurée par le pourcentage de population qui fréquente ce type d'aménité. En effet une bonne accessibilité à une aménités fréquentée par un pourcentage élevé de la population procure à l'échelle de la zone plus de satisfaction qu'un service qui n'est que peu utilisé. Ainsi la valeur  $m_n(A)=1$  correspondrait à un recours à cette aménité par l'ensemble de la population. La dernière étape est la prise en compte de la part de la population qui peut profiter de cette aménité donc  $n(A)/N$  où  $n(a)$  est le nombre de logement habitant à l'intérieur de la zone d'accessibilité. On obtient ainsi pour la satisfaction globale générée par l'aménité  $A$  :

$$m(A, r) = m(r_A)m_n(A)n(A)/N$$

Cependant les ménages évalueront leur satisfaction meilleure s'ils ont une bonne accessibilité à plusieurs aménités (Hotelling [100]; Nelson [101]; Brown [102]; Jones and Simmons [103]). Des études empiriques montrent que les ménages ont régulièrement recours à environ 14 aménités. Cependant nous nous sommes limités aux  $K_{Max} = 7$  aménités les plus choisies, il s'agit du nombre de critères que l'individu prend habituellement en compte lors de la prise de décisions. Ainsi nous obtenons comme satisfaction locale à l'endroit  $(x,y)$  pour le niveau hiérarchique 4 des services et commerces banaux, ce qui est illustré sur la figure 59 (b) et (c). La figure 59 (b) montre la combinaison de l'évaluation de deux aménités dont les aires d'accessibilité se recourent (Figure 59 (c)) :

$$S^{(4)}(x, y) = \sum_{K=1}^{K_{Max}} \frac{1}{K_{Max}} m(r_K)m_n(K)n(K)/N$$

Et à l'échelle d'une zone **fractalopolis** avec code  $ijkl$  le niveau de satisfaction global  $S_{ijkl}^{(4)}$  des services et commerces banaux sera obtenu en intégrant sur toute la zone :

$$S_{ijkl}^{(4)} = \iint_{zone\ ijkl} \left( \sum_{K=1}^{K_{Max}} \frac{1}{K_{Max}} m(r_K)m_n(K)n(K)/N \right) dx dy$$

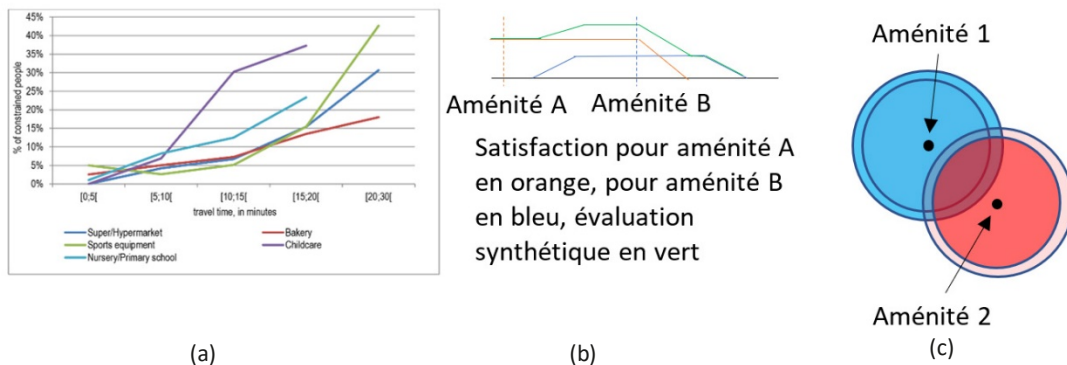


Figure 59 : La formalisation de la satisfaction des ménages (cf. texte)

Jusqu'ici nous avons considéré la présence d'aménité de nature différente (boulangerie, superette, bureau de tabac...). Au cas où un endroit se trouve dans une aire d'accessibilité de deux satisfacteurs identiques  $A_1$  et  $A_2$ , par exemple deux boulangeries nous retenons le mieux évalué ou, en cas d'égalité celui dont la part de population desservie est la plus importante :

$$m(A, r) = \max(A_1, r; A_2, r)$$

Jusqu'ici nous n'avons considéré que les services et commerces. Nous avons appliqué le même formalisme pour les espaces de loisir. La localisation est dans ce cas est l'intersection entre la voirie et l'espace récréatif (figure 60) car nous considérons que les individus profitent de ces équipements dès leur arrivée.

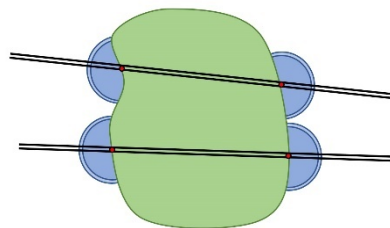


Figure 60 : les aires d'accessibilité des entrées d'un espace vert

Nous revenons maintenant à la théorie des besoins dont découle directement l'organisation hiérarchique du système spatial. Pour chacun des quatre niveaux que nous avons identifiés, les évaluations suivent le principe décrit pour le niveau 4. Si les distances pour le niveau 4 sont des distances à parcourir à pied, les rayons d'accès sont bien plus larges pour le niveau 3 et des déplacements par transport en commun ou voiture sont donc inclus. Il est évident, et correspond parfaitement à la logique du système spatial, que les aires d'accessibilité rayonnent sur les zones d'ordre inférieur. Pour le niveau 1 et 2 la simple présence est considéré, c'est-à-dire  $m_A(r_A) = 1 \forall r_A$  car ces aménités servent à l'ensemble de l'agglomération. En revanche les pondérations  $m_n(K)$  sont maintenues.

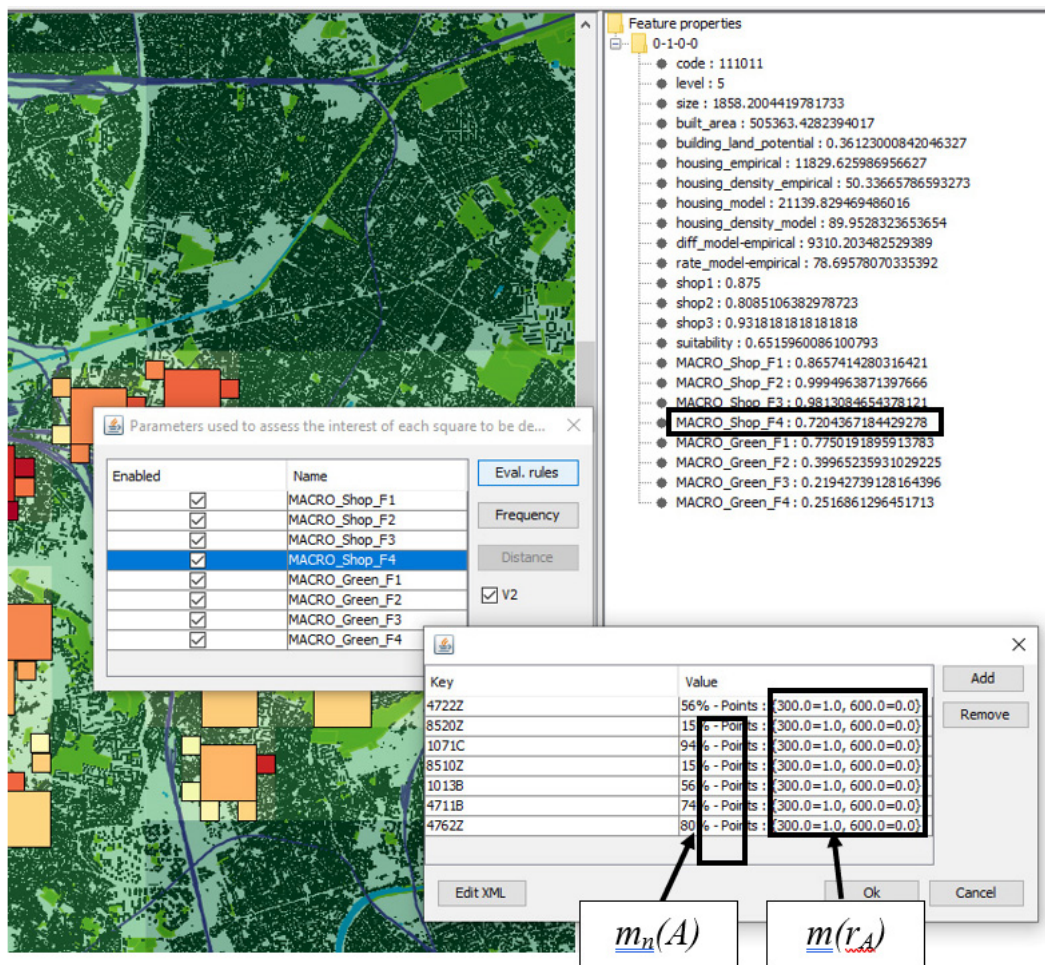


Figure 61 : Fenêtre de paramétrage et les valeurs choisi pour les commerces et services du niveau 4

La figure 61 montre l’affichage de la fenêtre de paramétrage et les valeurs choisi pour les commerces et services du niveau 4. La fourchette de distances acceptée est ici de 300 à 600 m et les poids varient selon les types d’aménités ici indiquées selon leur code NAF. L’évaluation de la zone choisie apparaît dans la fenêtre droite sous l’indication « MACRO\_shop 4 » (cadre noir) et est de 0,77.

Finalement on introduit un indicateur synthétique qui résume pour chaque zone  $ijkl$  la satisfaction générale

$$S_{ijkl} = m_u(1)S_{ijkl}^{(1,u)} + m_u(2)S_{ijkl}^{(2,u)} + m_u(3)S_{ijkl}^{(3,u)} + m_u(4)S_{ijkl}^{(4,u)} + m_l(1)S_{ijkl}^{(1,l)} + m_l(2)S_{ijkl}^{(2,l)} + m_l(3)S_{ijkl}^{(3,l)} + m_l(4)S_{ijkl}^{(4,l)}$$

où l’indice «  $u$  » se réfère aux aménités « urbaines », les commerces et service, et «  $l$  » aux espaces verts. Les poids  $m_u$  et  $m_l$  sont normalisés. Ces poids indiquent l’importance affecté aux différents niveaux de services. Ils peuvent être paramétrés par la fréquence de recours globales à ces aménités.

### 6.3.6. Choix des valeurs de distance d’accès et d’importance des aménités

A partir de nos règles d’évaluation, nous allons désormais détailler le choix des seuils de distance considérés comme satisfaisants pour l’accès des résidents aux différents types d’aménités. Pour chaque niveau hiérarchique, deux bornes de distance représentent les paliers d’atténuation de la satisfaction d’accès.

Notre principale référence bibliographique pour l’évaluation des distances consenties à chaque niveau de commerces et services sont les documents d’urbanisme. Ces derniers nous renseignent sur les distances moyennes, physiques ou temporelles, accordées aux déplacements pour motifs d’achat selon le niveau d’importance du commerce et la fréquence

d'usage. Nous avons notamment pu observer une différence de ces distances et temps d'accès selon la nature urbaine ou rurale des territoires d'application des SCoT. Le temps d'accès consenti pour atteindre un commerce de fréquence quotidienne ou hebdomadaire est plus important en milieu rural. Les collectivités tiennent donc compte des caractéristiques des territoires pour définir leurs seuils de satisfaction.

Les temps d'accès accordés aux commerces dans les espaces urbains sont définis comme suit :

- Achats quotidiens : moins de 5 minutes,
- Achats hebdomadaires : 5 à 10 minutes,
- Achats occasionnels : 10 à 15-20 minutes,
- Achats exceptionnels : plus de 20 minutes.

Nous avons traduit ces seuils de temps en gradients de distance pour chaque niveau hiérarchique de commerces et services (Tableau 10) :

Borne en [m]	Borne 1	Borne 2
Niveau 4	300	600
Niveau 3	800	1600
Niveau 2	3000	6000
Niveau 1	-	20 000

Tableau 10 : Seuils de distance d'accès des commerces et services par niveau hiérarchique

Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur les distances que les habitants jugent satisfaisantes pour accéder aux aménités, les valeurs des bornages proposées pour **fractalopolis** trouvent des justifications dans la littérature scientifique.

Les bornages des niveaux 4 et 3 correspondent à des distances de proximité favorisant l'usage de la marche. Il est généralement admis que les déplacements journaliers oscillent entre 100 et 300 mètres dans une limite de temps de 3 à 10 minutes (Certu, 2006).

Concernant les déplacements pour les achats, la marche reste le mode le plus utilisé pour se rendre aux commerces de proximité : 62 % des déplacements vers les magasins de proximité de niveau 4 se font à pied, c'est encore le cas pour 51% des déplacements vers les supermarchés de niveau 3. Pour accéder aux hypermarchés de niveaux 2, l'usage de la voiture se généralise pour atteindre entre 67% et 80% des déplacements (EGT 2010 ; Beauvais, 2003).

Il convient alors de tenir compte de la part de la population dont le potentiel de mobilité est limité (personnes à mobilité réduite, personnes âgées ou familles avec enfants). Il est démontré que la plupart des personnes âgées se rendent aux services de base à pied (Apparicio et Séguin, 2006).

D'autre part, la demande sociale de proximité aux écoles maternelles et primaires (niveau 4) est forte car la fréquentation implique un public très jeune et un accompagnement des parents dans les trajets (L'Institut Paris Région, 2008). La distance d'accès satisfaisante doit donc être inférieure à 1000 m depuis le domicile des usagers.

Les seuils de 800 à 1000 mètres en secteur urbain sont régulièrement utilisés dans la recherche, car il est globalement convenu qu'un adulte peut parcourir cette distance en 10 à 15 minutes à pied. Dans ce cas de figure, un magasin d'alimentation situé à cette distance reste donc accessible à ceux n'ayant pas accès à un véhicule motorisé ou à un réseau de transport en commun bien développé (INSPQ, 2013). C'est dans ce cadre que des stratégies de planification favorisant les courtes distances ont pu voir le jour. Par exemple, la ville de Rennes a développé une cartographie des temps d'accès à pied aux aménités du quotidien pour évaluer l'attractivité des différents secteurs de la métropole et promouvoir un urbanisme favorable aux personnes à mobilité réduite (Dameron, 2015). Nous pouvons illustrer ce principe par des cercles d'accessibilité piétonne aux équipements du quotidien (Madec et al., 2008, cf. Figure 62), dont les indicateurs ont été cités par un groupe de travail national sur le « chrono-aménagement » (Tempo Territorial, 2017).



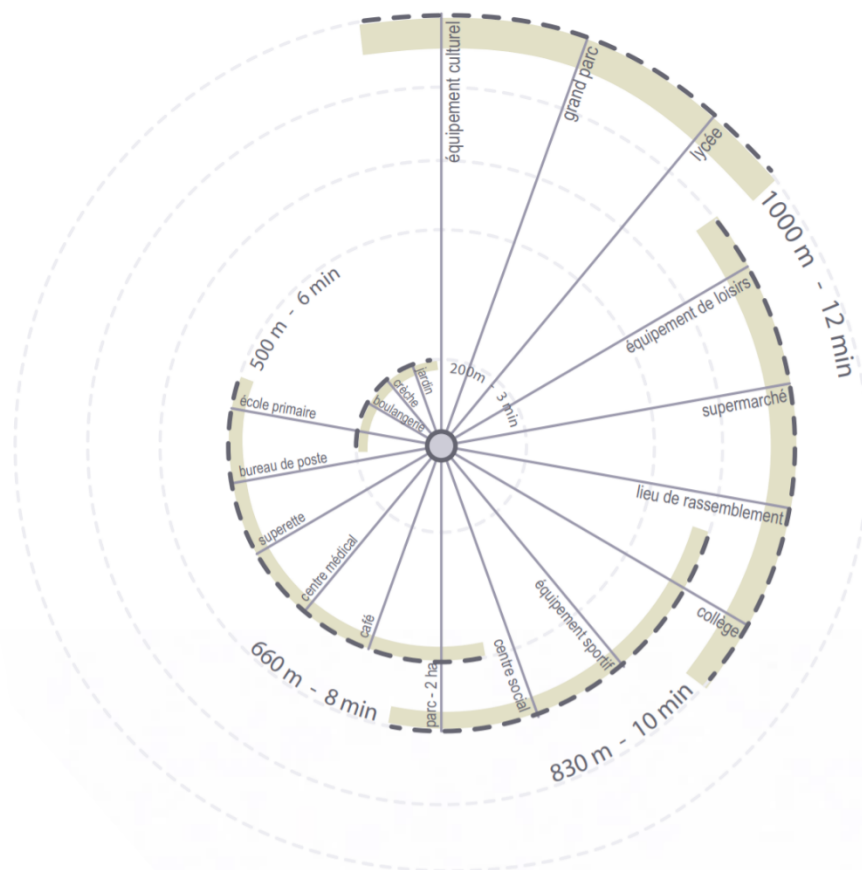


Figure 62 : Cercles d'accessibilité piétonne aux équipements du quotidien (Madec et al., 2008)

Pour les niveaux 2 et 1, les distances de bornage tiennent compte d'un usage plus important de la voiture et des transports en commun. Leurs usages s'imposent pour répondre à la rareté des aménités considérés, à une implantation hors des centralités urbaines ou par la nature encombrante des produits achetés. Enfin, un seuil de 20 000m a été appliqué aux aménités de niveau 1 pour exprimer une capacité d'accès égale pour l'ensemble de l'agglomération.

Après le choix des distances d'accès considérées comme acceptables par niveaux de services, il s'agit désormais de connaître les pourcentages d'utilisateurs de chaque aménité pour en estimer l'importance.

Sur la base d'une enquête réalisée par l'agence A'urba auprès des habitants du Scot de l'aire métropolitaine bordelaise, nous avons pu renseigner le pourcentage d'utilisateurs (au cours des trois derniers mois) pour la majeure partie des commerces et services sélectionnés. Les résultats par types de service sont visibles dans le tableau 11 (A'urba, 2017). Le nombre d'utilisateurs des hôpitaux est, quant à lui, issu des chiffres clés de l'hospitalisation (ATIH, 2019). En 2019, on compte 12,9 millions de patients hospitalisés et 23,8 millions de patients venus pour un acte ou une consultation externe dans un établissement de santé d'intérêt collectif en France, soit 36,7 millions de personnes. Cela représente 54% de la population française. Enfin, nous avons estimé certaines valeurs pour les commerces n'ayant pas fait l'objet d'une étude sur le sujet. Nous avons appliqué un pourcentage d'utilisation de 70% aux grands magasins et de 20% pour les commerces de détail de maroquinerie et les horlogeries-bijouteries, du fait du caractère exceptionnel de ces achats.

Niveau fractalopolis	Code NAF 732	Libellé code NAF 7312	Nombre d'unités sur le territoire d'Est Ensemble	Pourcentage d'utilisateurs
4	1013B	Boucherie-charcuterie	149	57 %
	1071C	Boulangerie et boulangerie-pâtisserie	216	94 %
	4711B	Commerce d'alimentation générale	375	74 %
	4762Z	Commerce de détail de journaux et papeterie en magasin spécialisé	82	80 %
	8510Z	Ecole maternelle	100	15 %

	8520Z	Ecole primaire	109	15 %
<b>3</b>	4711C	Supérettes	28	74 %
	4711D	Supermarchés	55	97%
	4730Z	Commerce de détail de carburants en magasin spécialisé	34	85 %
	4752A	Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en petites surfaces (moins de 400 m2)	23	77 %
	4771Z	Commerce de détail d'habillement en magasin spécialisé	306	88 %
	4773Z	Commerce de détail de produits pharmaceutiques en magasin spécialisé	124	93 %
	5310Z	Poste nationale	33	90 %
	5610A	Restauration traditionnelle	714	92 %
	5610C	Restauration de type rapide	864	92 %
	6419Z	Banque, Caisse d'Epargne	120	97 %
8621Z	Médecins généralistes	474	80 %	
<b>2</b>	4711A	Commerce de détail de produits surgelés	10	48 %
	4711F	Hypermarchés	6	97 %
	4721Z	Commerce de détail de fruits et légumes en magasin spécialisé	40	63 %
	4752B	Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m2 et plus)	5	77 %
	4791A	Vente à distance sur catalogue général (Drives)	179	17 %
<b>1</b>	4719A	Grands magasins	1	70 %
	4772B	Commerce de détail de maroquinerie et d'articles de voyage	26	20 %
	4777Z	Commerce de détail d'articles d'horlogerie et de bijouterie en magasin spécialisé	24	20 %
	5914Z	Cinéma	3	74 %
	8610Z	Activité hospitalière	55	54 %

Tableau 11 : Typologie des commerces et services avec le pourcentage d'utilisateurs

Comme pour les commerces et services, les données et informations utilisées pour l'évaluation des bornes d'accès aux espaces verts reposent sur une revue de la littérature scientifique et des documents d'urbanisme.

« Depuis les débuts de la planification moderne, des mesures quantitatives et des normes relatives aux espaces verts ont été successivement élaborées pour définir la densité et l'attractivité des zones urbaines » (Stähle, 2009). Au-delà du ratio de la superficie d'espaces verts par habitants, il a très vite été question d'estimer des distances d'accès satisfaisantes reposant sur une hiérarchisation des espaces verts et de loisirs. Il en résulte des outils de normalisation de l'accessibilité adoptés par les gouvernements de nombreux pays, comme l'*Accessible Natural Greenspace Standards* au Royaume-Uni, ou le *National open space guidelines* suédois, déjà cités précédemment.

Les valeurs des bornes font figure de compromis empiriques basés sur les recommandations de nombreuses études (Tableau 12).

Borne en [m]	Borne 1	Borne 2
Niveau 4	150	300
Niveau 3	500	1000
Niveau 2	1500	3000
Niveau 1	-	20 000

Tableau 12 : Seuils de distance d'accès des espaces verts par niveaux hiérarchique

Concernant les aménités de niveau 4, une distance d'accès de 300m est régulièrement citée dans la littérature. L'Organisation mondiale de la Santé considère par exemple que chaque personne devrait avoir accès à un espace vert d'au moins 0,5 à 1 hectare à une distance de moins de 300 mètres de son habitation (à vol d'oiseau) ou de l'équivalent de moins de 5 minutes

de marche (INSPO, 2019 ; WHO Regional Office for Europe, 2016). De même, l'*Accessible Natural Greenspace Standards* (ANGSt) recommande la présence d'un site de 2 ha à moins de 300 m du domicile. Dans une enquête sur l'accès aux espaces verts de la ville de Leicester, la distance idéale la plus proche pour plus de 75% des utilisateurs va jusqu'à 300m et 500m (Sotoudehnia et Comber, 2011). Bien que 300 mètres soient un objectif d'accessibilité de base acceptable, une distance plus courte aux espaces verts peut être une mesure plus appropriée pour les populations plus jeunes et plus âgées. Une distance plus courte est également appropriée dans les zones de densité urbaine élevée, où les espaces extérieurs privés peuvent se faire plus rares et l'on y rencontre un besoin accru d'accéder aux espaces verts publics (City of Ottawa, 2020). Par ailleurs, la fréquence des visites dans les zones vertes et de loisirs de proximité semble être affectée par une diminution significative sur les 300 premiers mètres, à mesure que la distance entre les logements et les zones vertes augmente (Toftager et al., 2011 ; Nielsen et Hansen, 2007). Dans les tissus urbains denses, les squares de proximité sont considérés comme les types d'espaces verts à renforcer en priorité (Boutefeu, 2005). Dans ce contexte, certaines études prennent en compte des distances d'accès plus réduites. Selon L'Institut Paris Région (2020), l'accès de proximité aux espaces verts et boisés doit être de 200 m pour un espace de moins d'un hectare et de 300m pour un espace de 1 à 10 hectares. Une enquête du Certu menée sur la ville de Lyon (2006) suggère que pour les espaces verts de moins de 1 ha, l'attraction de proximité est immédiate et ne dépasse pas 100 mètres.

Pour les aménités de niveau 3, on considère que les espaces verts ont une bonne accessibilité jusqu'à 500 mètres (Ballion et Granjean, 1982 ; Saulnier, 2006). L'outil en ligne EnviroAtlas fourni par l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis mesure également le pourcentage de la population résidentielle à moins de 500 m à pied d'une entrée de parc (Pickard et coll., 2015). La limite de leur rayon d'attraction est de 1 km, distance au-delà de laquelle la fréquentation de l'espace vert tend à changer de statut, devenant une fréquentation « de sortie » plutôt qu'une fréquentation du quotidien (Ballion et Granjean, 1982 ; Saulnier, 2006). De même, le seuil de 1000 m est souvent cité comme la distance piétonne maximale que les gens sont prêts à parcourir pour utiliser un espace vert ou atteindre une aire de loisirs, équivalent à 10-15 min de marche (Hörnsten et Fredman, 2000 ; Hoffmann et al., 2017). En conséquence, les recherches sur les transports indiquent régulièrement qu'après 1 à 1,5 km, les piétons ont tendance à privilégier d'autres moyens de transport.

Les seuils des aménités de niveaux 2 et 1 impliquent donc un accès à vélo, en voiture ou en transport en commun en plus de la marche. La proximité n'est plus le principal facteur de choix dans la fréquentation de ces espaces mais tient compte de la surface et de la nature des activités proposées.

En complément des études sur les seuils de distance d'accès, une enquête menée auprès des habitants de l'agglomération lyonnaise nous renseigne sur les pourcentages d'utilisateurs des principaux types d'espaces verts (Boutefeu, 2011). Les résultats de nos recherches sont synthétisés dans le tableau 13.

La moitié des personnes interrogées déclare aller régulièrement dans un square, quasi quotidiennement (54%), notamment pour les personnes âgées ou la demande progresse (62%). Un parc de ville en position centrale est un équipement très prisé des habitants de la ville dense, aussi bien le week-end que les jours travaillés durant lesquels il fonctionne à la manière d'un square de proximité. 86 % des personnes interrogées déclarent fréquenter les parcs.

Enfin, 65 % des personnes interrogées déclarent fréquenter les espaces naturels boisés et agricoles.

Une enquête de l'agence A'urba menée sur l'ensemble du territoire de l'aire métropolitaine bordelaise estime que les jardins partagés sont considérés à 10% comme des espaces accessibles. Au contraire, les parcs arborés sont les espaces de nature considérés comme les plus accessibles pour les habitants, avec près de 80% des réponses.

Dans une enquête menée en Ile-de-France, 22 % des franciliens de 15 ans et plus déclarent avoir fréquenté au moins une base de loisirs au cours de l'année (IRDS, 2013).

Niveau <b>freotalopolis</b>	Type d'espace	Pourcentage d'utilisateurs
<b>4</b>	Square et jardin public	54 %
	Plaine de jeux	35 %
<b>3</b>	Parc de ville	86 %
	Parc d' étang	86 %
	Jardin familial	10 %
	Autre jardin	10 %
	Jardin non identifié (ou jardin potager)	10 %

	Parc sportif	35 %
2	Grand parc urbain	86 %
	Espace naturel à caractère pédagogique	65 %
	Jardin partagé	10 %
	Jardin thérapeutique	10 %
	île de loisirs	22 %
1	Espace boisé	65 %
	Jardin d'insertion	10 %
	île de loisirs régionale	22 %
	Jardin botanique	35 %
	Parc de château	35 %

Tableau 13 : Pourcentages d'utilisateurs par type d'espaces verts et de loisirs

Pour les espaces verts et de loisirs dont le pourcentage d'utilisateurs n'a pu être renseigné, nous leurs avons appliqués une valeur de 35%. Il s'agit des plaines de jeux, parcs sportifs, jardins botaniques et jardins de châteaux pour lesquels la demande d'usage est plus segmentée à certains profils de la population.

## 6.4. Perspectives d'évaluation économique pour les commerces et services

### 6.4.1. Évaluation des aires de rentabilité des aménités

Avec le modèle **fractalopolis**, Il nous est également possible de spatialiser l'aire de chalandise nécessaire à la rentabilité des *satisfiers*. En effet, l'étude des documents d'urbanisme nous a permis de disposer d'informations sur le nombre de clients nécessaires à la survie économique d'un certain nombre de magasin ou de service. En partant de l'emplacement d'un *satisfier* existant ou futur et à l'aide des données carroyées de l'INSEE, nous pouvons ainsi totaliser la population des carrés de la grille environnante selon le modèle de population pour obtenir la zone de rentabilité. Nous pouvons illustrer cette zone de rentabilité par un code couleur (figure 63). Dans les mailles orange, nous atteignons le nombre nécessaire de clients. La couleur choisie correspond au pourcentage de la population pour lequel nous atteignons le seuil de rentabilité.

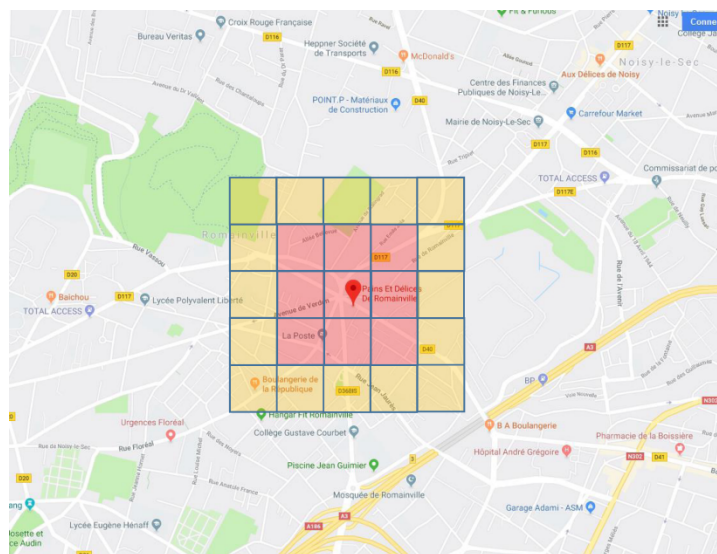


Figure 63 : Évaluation de la rentabilité sur une grille carroyée régulière

Afin d'évaluer si une nouvelle implantation d'un commerce serait rentable, nous revenons maintenant aux évaluations des clients. Jusqu'à présent, nous avons évalué l'accessibilité en fonction de l'espace et de l'importance que chaque consommateur accorde à un *satisfier*. Nous nous concentrons maintenant sur la demande potentielle pour une zone donnée. Pour ce faire, nous considérons chaque type de *satisfier* séparément et ne prenons en compte que la fonction de distance  $m_A(r)$  car nous ne prenons pas en compte la satisfaction globale des consommateurs. Nous pondérons cette fonction de distance par le nombre de clients, pour lesquels un *satisfier* semble intéressant par son accessibilité. Nous revenons donc à l'accessibilité  $m_A(r)$  pour chaque type de *satisfier*, que nous agrégons, à l'échelle des maillages selon la procédure décrite précédemment ; les résultats peuvent être représentés de la même manière que dans la Figure 63.

$$n_{ij}(A) = \overline{m_A(r)} n_{ij}$$

Cette information correspond aux aires de chalandises du *satisfier* A. Nous pourrions faire valoir qu'il faudrait également tenir compte du taux d'achat des clients afin d'avoir une évaluation réaliste de la demande. Toutefois, les données disponibles sur le nombre de clients nécessaires pour garantir la rentabilité tiennent déjà compte de cet aspect. Il est donc possible de comparer les aires de chalandise et les aires de rentabilité pour identifier les déficits de l'offre et de la demande.

### 6.4.2. Emplois et surfaces d'activité

En outre, les ressources bibliographiques nous fournissent des informations sur le nombre d'emplois créés pour chaque type de *satisfier* (Tableau 14). Cela nous permet de calculer l'offre d'emploi locale pour un scénario donné. Étant donné que nous connaissons également le pourcentage de population active, nous pouvons calculer approximativement l'équilibre/déséquilibre entre l'offre et la demande d'emploi selon la logique du modèle de Lowry (Lowry, 1964).

Type de commerce	Nombre de magasins	Personnes employés / magasin	Surface moyenne (m <sup>2</sup> ) / magasin	m <sup>2</sup> / emploi
Supermarché	8175	55,4	1085	44,7
Boulangerie-Pâtisserie	29 816	4,1	39	11,5
Pharmacie	21 031	5,9	75	17,5

Tableau 14 : Données d'emploi et de surface par types d'activités (Le Van, 2008)

De plus, pour chaque type de *satisfier*, nous connaissons la surface commerciale et de production requise. Il est donc aisé de calculer la superficie correspondant à ces activités. Il en va de même pour les activités industrielles et de services, qui créent des emplois au-delà de la satisfaction de la demande locale. Nous pouvons utiliser cette information pour la généraliser et l'implanter dans le modèle de **fractalopolis**. Nous illustrons à nouveau ce principe par un schéma théorique (Figure 64). Les carrés foncés correspondent à des zones d'activité industrielle et commerciale, tandis que les zones gris pâle correspondent à la surface cumulée requise pour les *satisfiers* locaux. Dans le cadre des simulations, ces informations permettent de calculer l'espace nécessaire aux activités commerciales et industrielles dans les zones de développement, mais aussi l'espace libéré par la réduction de ces activités dans une zone urbanisée à dédensifier.

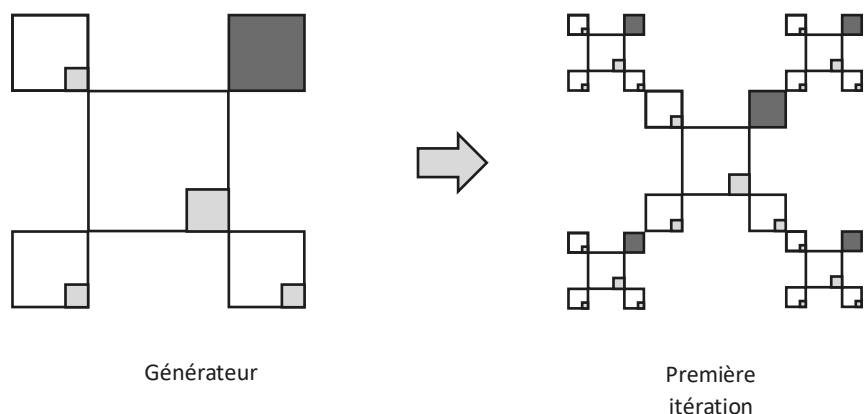


Figure 64 : Répartition des activités du programme *fractalopolis*

### 6.4.3. Application sur le territoire d'Est Ensemble

Nous pouvons illustrer le concept des aires de rentabilité par son application sur l'armature commerciale et de services d'Est-Ensemble. A partir de notre typologie géolocalisée des satisiers, il nous a été possible d'estimer les aires de chalandise en croisant le nombre total d'habitants d'Est-Ensemble avec le nombre d'unités de chaque type de commerce et de service. Par exemple, il y a 216 boulangeries dans les municipalités du territoire d'Est-Ensemble pour 415 000 habitants.

En moyenne, chaque boulangerie a une clientèle potentielle de 2 000 habitants. Cela nous fournit des informations sur la proportion de clients dont une entreprise ou un service est susceptible d'avoir besoin pour être viable, indépendamment des autres et en fonction de son type d'activité. Il existe également une certaine corrélation entre les chiffres d'Est Ensemble et les seuils de généralisation des entreprises proposés dans la littérature scientifique (INSEE et IAU en Ile-de-France).

La question du nombre de personnes vivant à proximité immédiate d'un point de vente est intéressante. C'est notamment sur la base de ce chiffre que certains magasins ou services spécialisés deviennent viables, ce qui en fait un indicateur pertinent à utiliser. C'est en croisant les données carroyées de la population avec l'accessibilité piétonne/voiture et l'emplacement des services et des commerces que nous avons pu construire les zones de rentabilité de chaque établissement, en tenant compte de la base théorique vue ci-dessus.

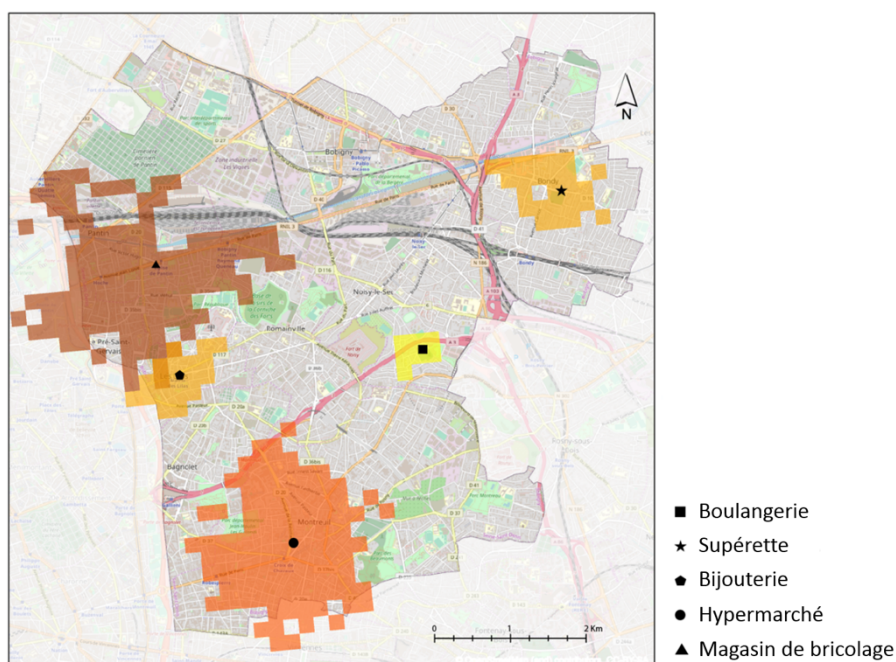


Figure 65 : Exemples de zones de rentabilité de certains magasins et services d'Est-Ensemble

Comme le montre la figure 65, les aires de rentabilité sont plus ou moins importants selon le format et l'offre commerciale. La boulangerie a besoin d'au moins 2 000 habitants et de clients potentiels à proximité pour assurer sa viabilité, l'épicerie et la bijouterie de 15 000 habitants, l'hypermarché de 65 000 habitants et le magasin de bricolage de 80 000 habitants. Les valeurs d'Est-Ensemble, même si elles n'atteignent pas les 20 000 habitants au km<sup>2</sup> observés dans certains quartiers parisiens, sont suffisantes pour rendre viable un nombre très varié de commerces.

## VI. MISE EN ŒUVRE A L'ECHELLE DE L'AGGLOMERATION ET POUR EST ENSEMBLE

### 6.5. Evolution du logiciel de simulation **fractalopolis** et création d'un système d'information géographique

Le scénario développement et leur évaluation à travers les règles d'accessibilité ont été réalisés par le logiciel **fractalopolis** développé à Thema par Gilles Vuidel dans le cadre du projet Vilmodes du PREDIT 3. Ce logiciel, développé en JAVA fonctionne selon un mode de SIG, permet d'afficher les différentes couches cartographiques notamment de la BDTopo de la zone d'étude telles que le bâti, les espaces verts, le système hydrographique, la voirie, les lignes de TC, commerces et services, points d'entrée dans les zones de loisir etc. Nous avons également utilisé les données INSEE disponibles à l'échelle d'un carroyage à mailles de 200 m. En outre on peut définir un générateur multifractal selon la logique décrite dans la partie V et procéder à l'itération. Il est possible de développer des scénarios de concentration/déconcentration en modifiant les paramètres du modèle de population. En pratique on utilise le nombre de logements. A chaque étape d'itération le logiciel renseigne sur le nombre de logements dans les différentes zones, le déficit/surplus par rapport à la situation actuelle et sur l'évaluation des accessibilités aux aménités des différents niveaux.

Dans le présent contrat l'objectif était de faire évoluer ce logiciel :

- En intégrant les nouvelles règles d'accessibilité
- En le rendant plus opérationnel pour les applications

Ainsi les améliorations ont permis d'améliorer la convivialité du logiciel en rendant certaines opérations plus optionnelles (mise à jour de certains paramètres etc.) et de réduire le temps d'affichage (rafraîchissement de l'écran etc.). Par ailleurs, il est maintenant possible de ne pas utiliser des carrés pour représenter les zones de développement, mais des polygones de même surface, ce qui permet d'ajuster les zones d'étude à la réalité du terrain (Figure 66) tout en conservant les propriétés multi-échelles du zonage. D'un point de vue théorique il s'agit d'une « multifractale aléatoire » c'est-à-dire que la loi scalante est respectée, les propriétés hiérarchiques sont toujours valables. Nous avons également ajouté comme indication la densité de logement par hectare en partant de la surface réelle constructible donc en déduisant les espaces publics et non constructibles de la surface totale.

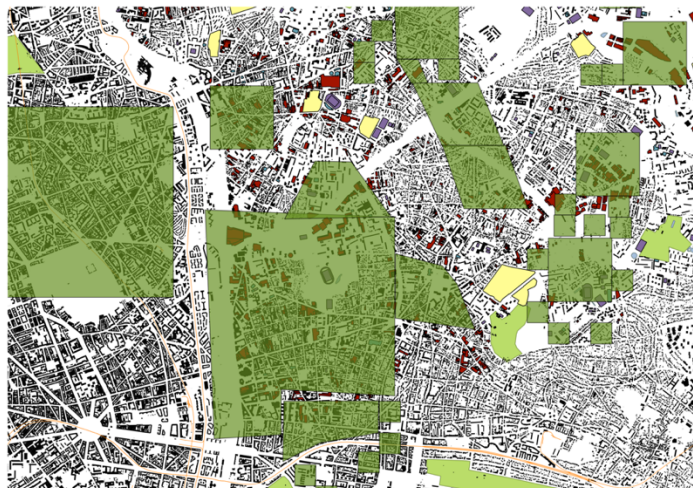


Figure 66 : Utilisation de polygones quelconques pour ajuster le zonage de certains carrés ; chaque polygone utilisé a la même surface que le carré correspondant dans le zonage régulier. Ici ce sont les zones de développement qui sont représentées en vert

En outre nous avons constitué pour le logiciel QGIS, système d'information géographique libre et gratuit, une base de données regroupant l'ensemble des informations que nous utilisons pour le diagnostic et la modélisation.

Le système d'information géographique contient ainsi la BDTopo de l'IGN, différentes couches fournies par l'APUR et l'IAU sur les espaces de projets, le potentiel de géothermie fermée et de gisement solaire, les paysages repères, les fonctions urbaines, le patrimoine immobilier protégé, les quartiers politiques de la ville, et enfin les secteurs opérationnels de projets actifs et futurs (Figure 67). Ces bases de données nous ont servi à représenter les résultats obtenus.



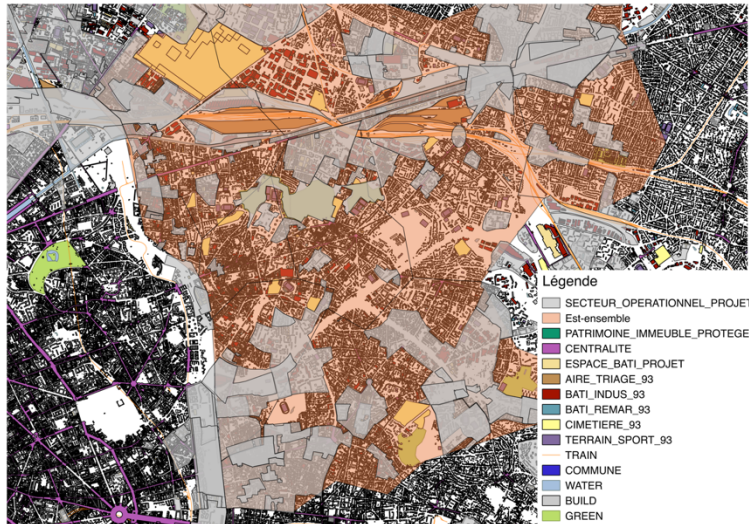


Figure 67 : Extrait du système d'information constitué, montrant Est Ensemble en orange et les secteurs opérationnels de projet en gris clair

## 6.6. Zonages et évaluation à l'échelle de l'agglomération

Rappelons que l'objectif du concept **fractalopolis** est de distinguer des zones de développement par rapport à des zones à dédensifier ou à ne pas développer qui ont une fonction d'accueillir des zones de loisir et des trames vertes et bleues que nous avons désigné comme zones protégées. Mes illustrations suivantes sont des captures d'écran du logiciel.

Conformément à notre approche multi-échelle, nous avons d'abord travaillé sur l'agglomération parisienne (Figure 68) avant de nous intéresser à notre territoire d'étude.

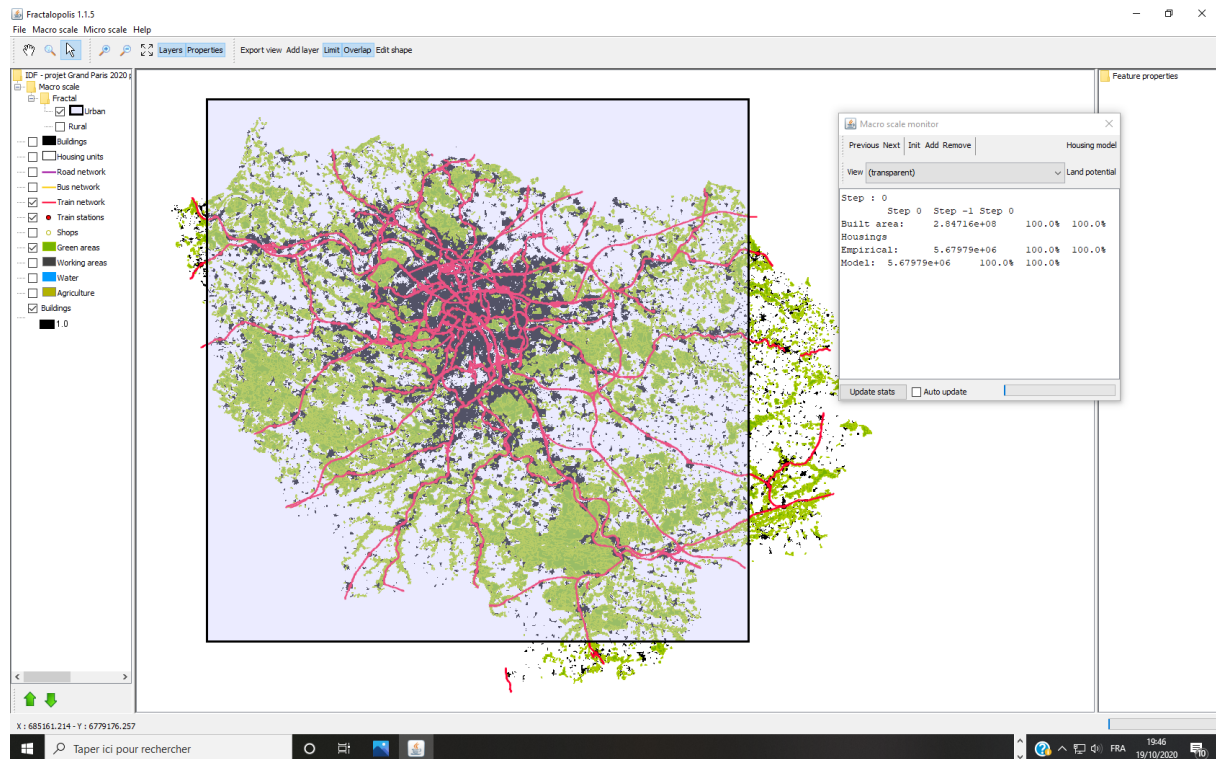


Figure 68 : la zone d'étude qui correspond au « Très Grand Paris »

La structure de l'agglomération parisienne (Figure 69) a été construite à partir de villes d'importance historique qui ne jouent pas nécessairement un rôle aussi important qu'elles le pourraient : Mantes-la-Jolie (01), Rambouillet (02), Montereau-Fault-

Yonne (04), Coulommiers (05) et Meaux (03), ce qui a conduit à utiliser comme structure hiérarchique un centre et cinq sous-centres. Nous désignons désormais cet espace comme le « *Très Grand Paris* ».

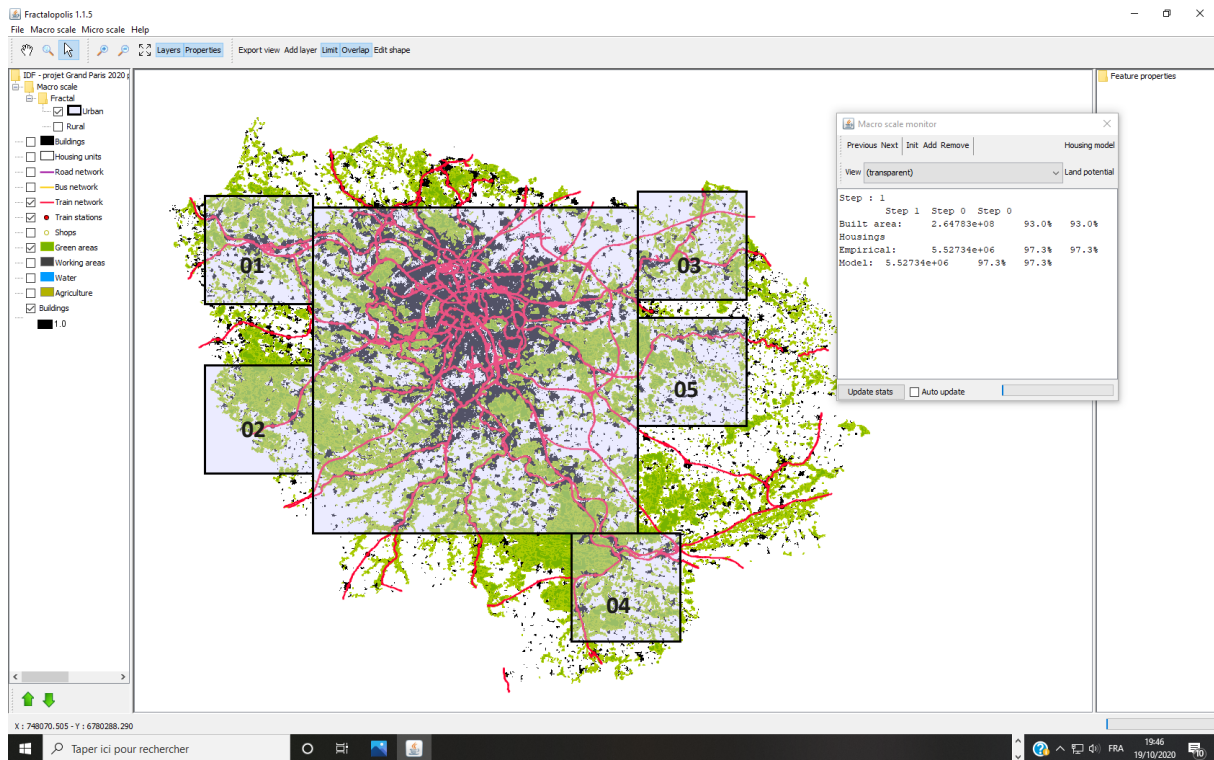


Figure 69 : Le générateur multifractal des simulations à l'échelle du Très Grand Paris avec désignation des sous-centres (cf. texte)

Nous avons choisi les sous-centres aussi en fonction des grands axes de transport en commun existants. Cette logique est appliquée aussi aux étapes suivantes en définissant des zones de concentration autour des sous-centres de différents niveaux. Le deuxième critère est la préservation des grandes zones forestières existantes qui ont été classées dans les zones protégées. Ces zones peuvent faire partie de zones de développement lors des premières étapes d'itération qui sont très grossières. Il est rappelé qu'à chaque étape d'itération des zones protégées supplémentaires sont découpées. L'objectif est alors d'identifier à l'échelle fine dans des zones denses des espaces qui pourraient être transformés en trame vertes ou bleues à moyen et long terme. Cependant il faut être conscient que les zones protégées sont des zones pour lesquelles les trames vertes et bleues sont privilégiées, mais pour lesquelles même un faible développement peut être admis. Toutefois ce sont des zones pour lesquelles une dé-densification est mise en avant.

La troisième étape d'itération met en évidence la concentration des zones de développement le long des axes de transport en commun et l'emboîtement des zones protégées qui augmentent les espaces de contact entre le bâti et les espaces récréatives.

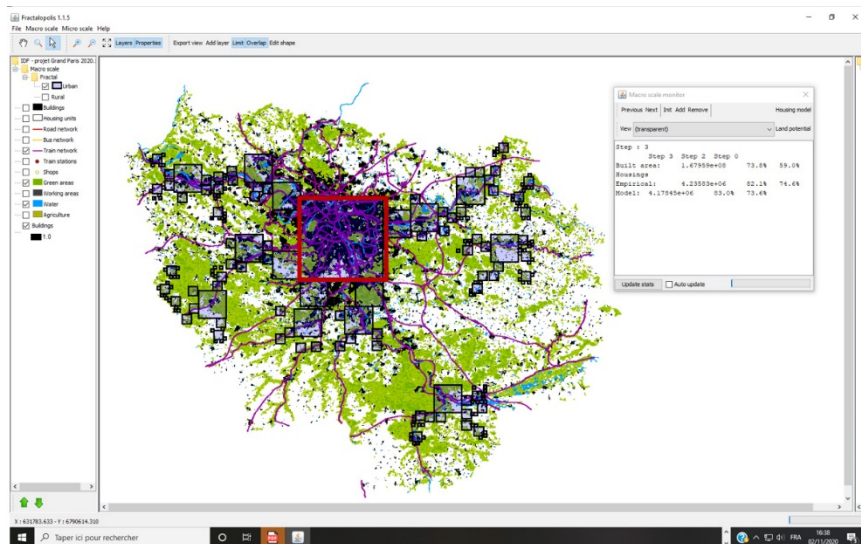


Figure 70 : La troisième étape d’itération du scénario proposé pour le Très Grand Paris. La zone entourée par un carré rouge est la zone reprise dans le projet Paris-Est

A partir de la troisième étape nous avons créé un projet **fractalopolis Paris Est** qui reprend le carré indiqué en rouge sur la figure 70. Cette zone a été affinée par trois étapes d’itération supplémentaires toujours en utilisant le même générateur que celui défini pour le Très Grand Paris. La simulation comprend ainsi au total six étapes d’itération **en gardant ainsi une cohérence à travers les échelles par rapport l’organisation interne du système spatial.**

La zone centrale de l’agglomération parisienne, qui contient *Est Ensemble*, est ensuite décomposée en poursuivant la logique définition des zones de développement et les zones protégées, même si bien entendu à cette échelle les zones protégées sont de toute façon fortement urbanisées. Les zones de développement deviennent alors les zones de focalisation de l’étude. Nous avons identifié de nouvelles polarités secondaires, à cette échelle (Figure 71), dont fait partie le territoire d’Est Ensemble.

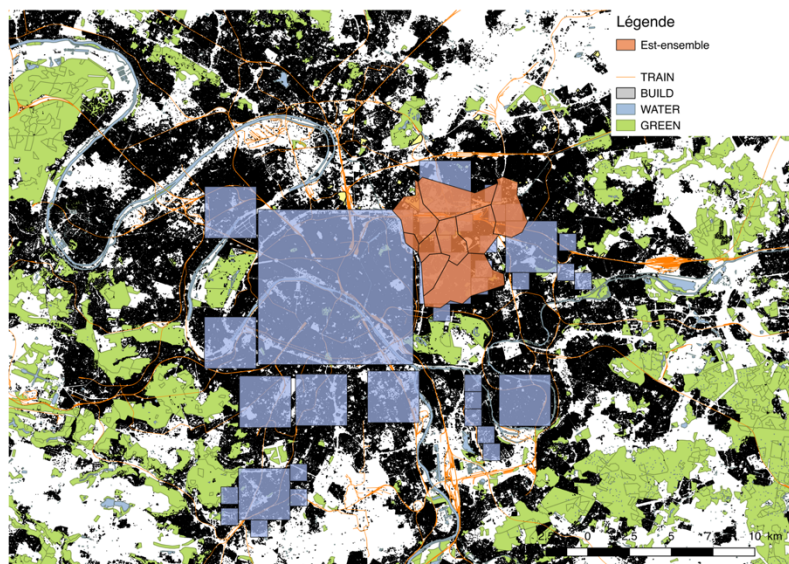


Figure 71 : Position d’Est Ensemble dans le système de la petite couronne

Nous avons déjà classé une partie du territoire d’Est-Ensemble en zones protégées qui permettra de dégager des trames vertes à l’intérieur de ce territoire – trop – densifié. Nous avons ainsi élaboré un zonage pour l’analyse qui respecte les zones vertes d’aération du territoire mais qui n’est pas totalement en adéquation avec le projet de réseau du Grand Paris (Figure 72).

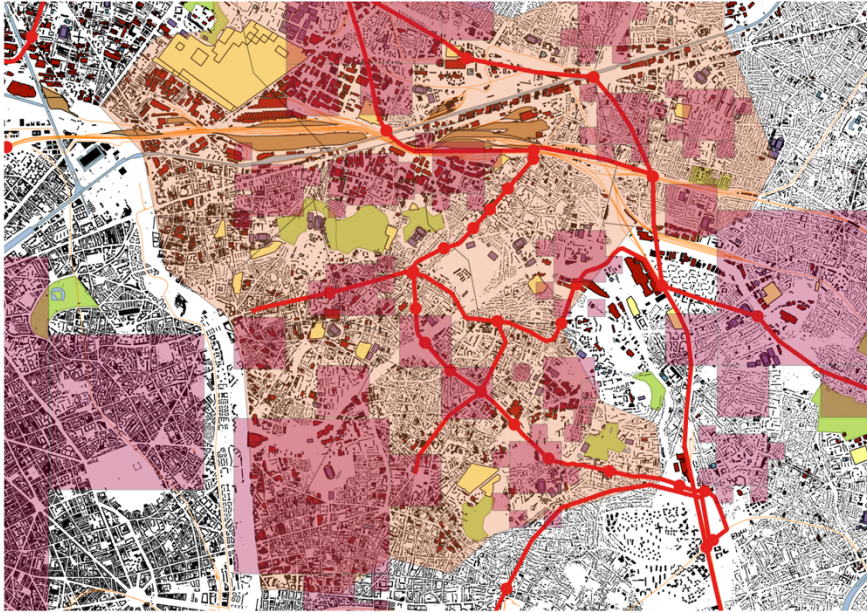


Figure 72 : Superposition du réseau du Grand Paris (projet, en rouge) et du zonage élaboré pour l'analyse d'Est Ensemble

Il correspond en revanche parfaitement aux secteurs opérationnels de projet sur lesquels nous nous concentrons (Figure 73).

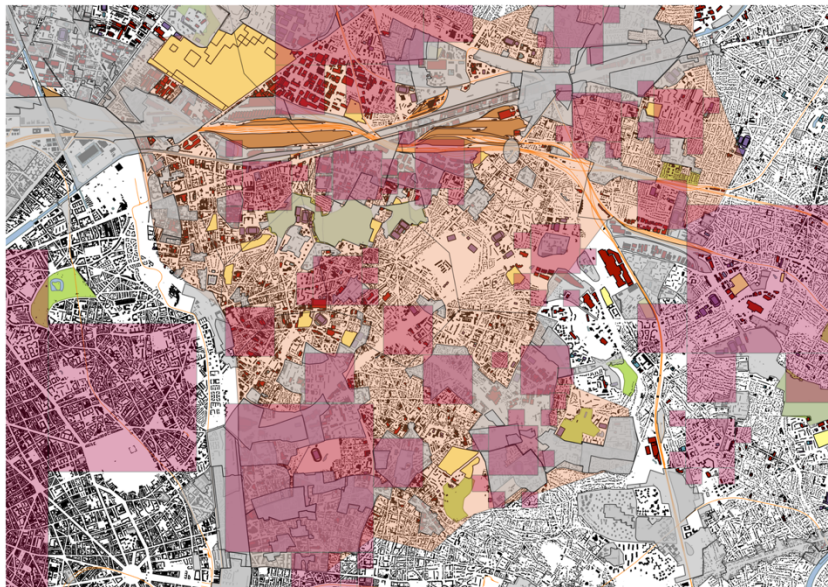


Figure 73 : Secteurs opérationnels de projet (en gris) superposés au zonage d'analyse d'Est Ensemble

La figure 74 montre la troisième étape d'itération pour le scénario *Paris Est*. Ici nous avons également affiché les zones protégées qui se distinguent selon leur couleur en fonction de l'étape d'itération par lesquelles elles ont été générées. Les zones en vert plus foncé sont des zones générées en amont de la dernière étape pour lesquelles le degré de concentration de logements admis est généralement plus faible que pour les zones protégées plus proches des zones de développement.

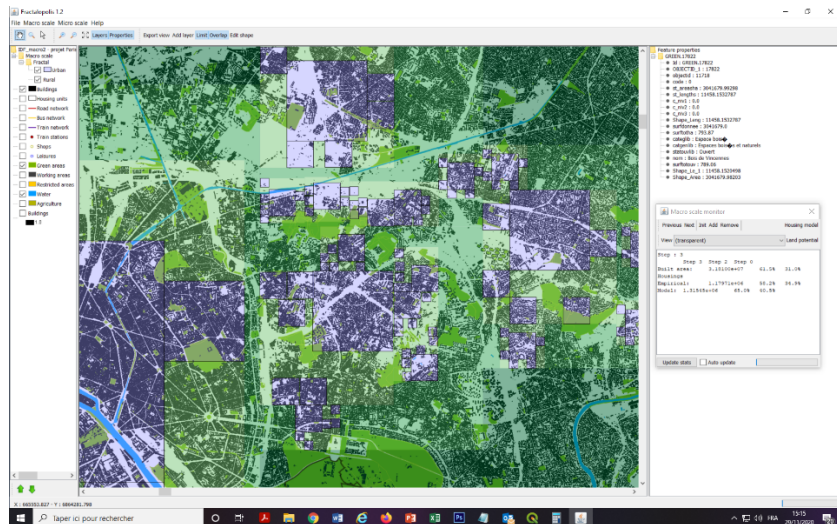


Figure 74 : la troisième étape d'itération, zoom sur la zone d'étude. Sont également affichées les zone protégées (cf. texte)

Nous préciserons maintenant les propositions pour la protection et la mise en place de trames vertes et bleues dans le secteur d'étude qui nous paraît un enjeu majeur pour un bon fonctionnement futur de cet espace.

## 6.7. Préservation des trames bleues et vertes

A l'échelle du *Très Grand Paris* on s'aperçoit qu'à partir de la deuxième étape d'itération les grands espaces verts sont bien préservés. Dès cette étape nous avons décalé dans la zone de développement O4 (figure 69) le sous-centre vers Montargis pour préserver la forêt de Fontainebleau. Cette logique a été poursuivie jusqu'à la troisième étape et poursuivie dans le projet *Paris-Est*.

Dans le contexte d'une telle zone extrêmement urbanisée nous préconisons dans les zones protégées une dé-densification dans le but d'améliorer la qualité de vie et dégagant certaines zones bâties pour créer des trames vertes contiguës. Il paraît important, à notre avis, de s'affranchir d'une politique de densification à tout prix et de projets urbanistiques « prestigieux ».

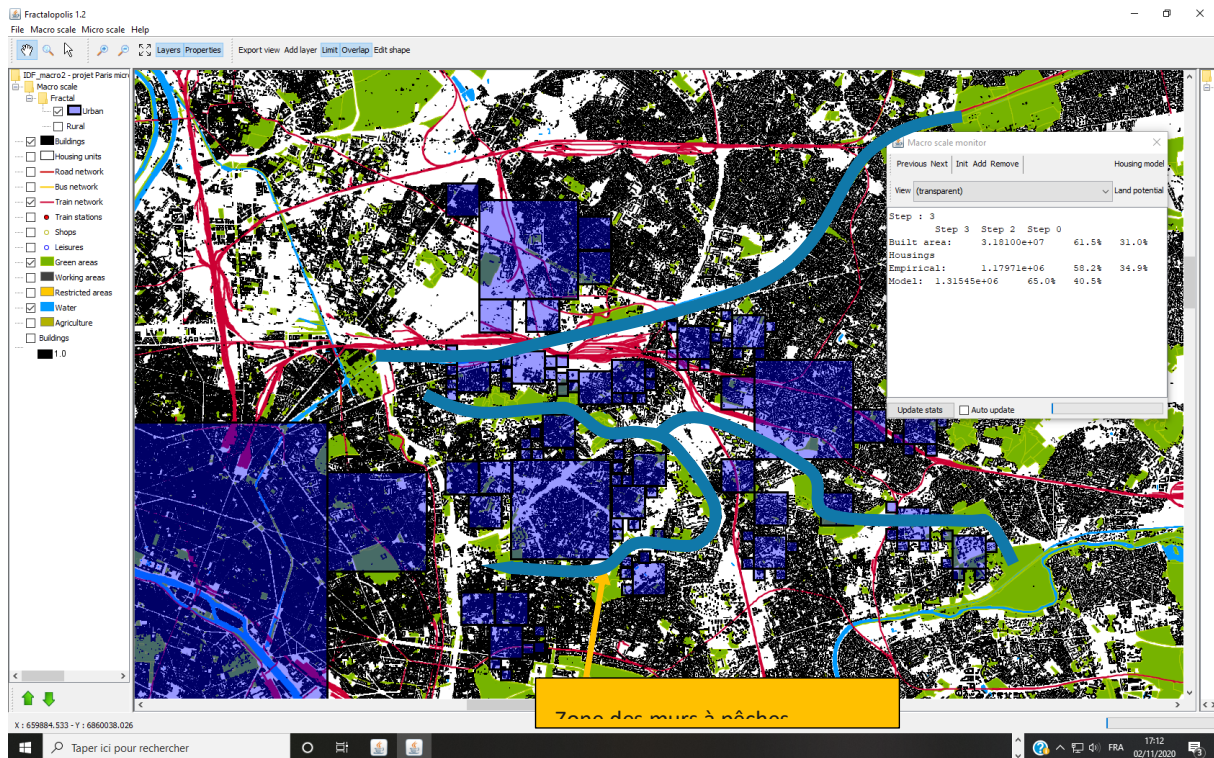


Figure 75 : le système de trames vertes et bleues proposé

Nous avons pu identifier à cette échelle locale quatre trames vertes et bleues existantes, à conserver ou à développer grâce à une dé-densification (figure 75). Au Nord, on identifie le canal de l'Ourcq, déjà flanqué sur une section par le Parc départemental de la Bergère à Bobigny au Nord qui est relié par deux passerelles à la rive Sud. (Figure 76). Ce cours d'eau qui se prête idéalement à une trame bleue est d'ores et déjà longé par une voie piétonne. Il est flanqué sur la rive Sud par des ancienne zone d'activité en abandon. **Nous regrettons qu'un écoquartier très dense a été érigé récemment. Il ne serait en aucun cas acceptable de créer d'autres projets le long du canal du type « Waterfront » !** Au-delà des aspects récréatifs le canal sert aussi comme coulée de ventilation et cet effet serait renforcé par un accompagnement verdoyant. Même si la zone est limitée par une zone ferroviaire exploitée au Sud, elle dispose d'accès à Noisy-le-Sec et Romainville.



Figure 76 : passerelle piétons traversant le canal de l'Ourcq reliant le parc départemental de la Bergère à Romainville (source : google maps)

Le second système de zones de protection retenu se présente aujourd’hui sous une forme partiellement morcelée. Le système prend la forme d’un fer à cheval sur lequel se greffe une branche Est et une branche Sud. La partie nord commence à Romainville et s’étend jusqu’au fort de Noisy (figure 77). Elle traverse une zone résidentielle à faible densité (cercle rouge et Figure 78).



Figure 77 : la partie Nord du système connecté de trames vertes au cœur de la zone d’étude

La jonction avec la branche Est de la trame verte se situe dans la zone de Rosny-sous-Bois dont le centre ferait partie de la trame verte (cf. ovale rouge figure 78). Le Sud de cette zone bâtie est hétéroclite, en partie pavillonnaire (figure 79) et verdoyante (figure 80), mais contient des bâtiments qui font bloc et qui sont en partie récent (figure 81).

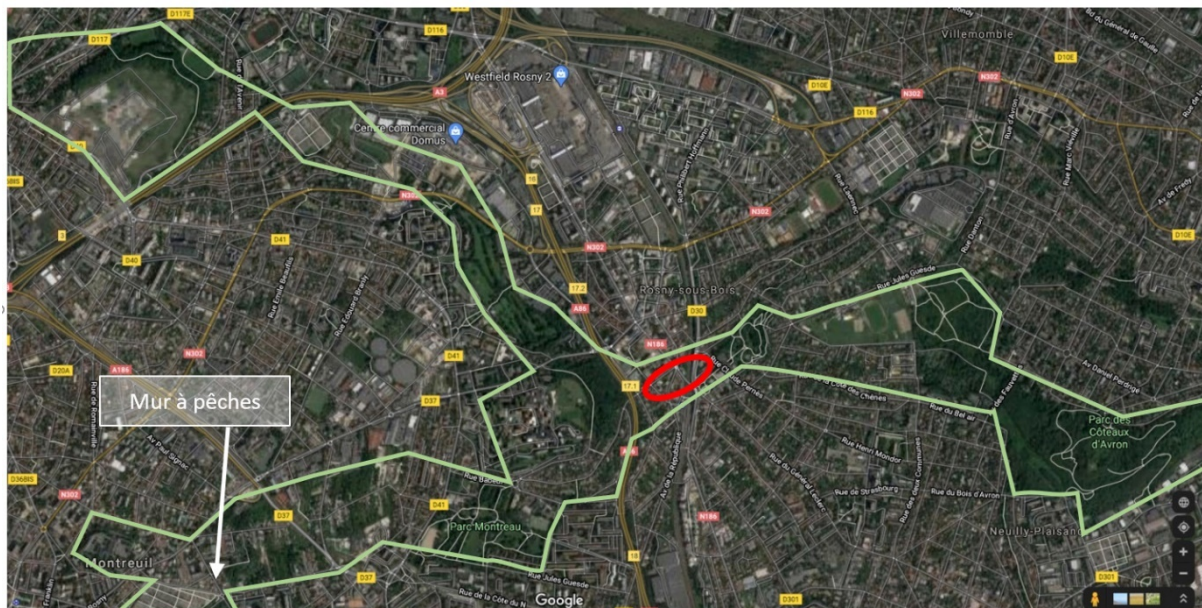


Figure 78 : Partie centrale du système connecté de trames vertes



Figure 79 : Romainville, Allée Bellevue



Figure 80 : Rosny-sous-Bois, Mail Jean-Pierre Timbaut

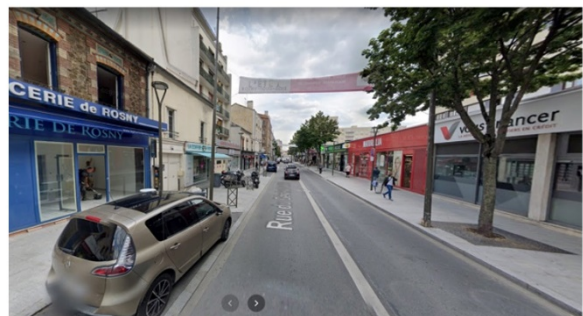


Figure 81 : Rosny-sous-Bois, Rue du Général Gallieni

La zone protégée de Montreuil contient plusieurs parcs publics et un espace peu bâti, verdoyant dont fait partie les murs à pêches (figure 82). Entre cette zone et la parc départemental Jean Moulin-Les Guilands se situe des zones hétéroclites sans cohérence urbanistique (figure 83). Proche du parc Jean Moulin-Les Guilands se trouve une zone bâtie en partie de plus faible



densité (figure 83 zone « 1 », figure 84) mais aussi des espaces de construction contemporaine (figure 83 zone « 2 », figure 85).



Figure 82 : Montreuil, secteur du mur à pêches



Figure 83 : zone protégée de Montreuil (cf. texte)



Figure 84 : Montreuil, rue Jules Ferry



Figure 85 : Montreuil, Rue des lumières

La branche Sud du système des zones protégées est très hétéroclite (figure 86 et 87). Elle se situe au Sud du Parc Montreuil, essentiellement sur les communes de Fontenay-sous-Bois et Nogent-sur-Marne. Elle contient l'espace de Maréchaux et rejoint la Marne vers le stade sous la Lune-Alain Mimou. Vu la situation, il paraît plus difficile d'intervenir, mais une densification serait à éviter.

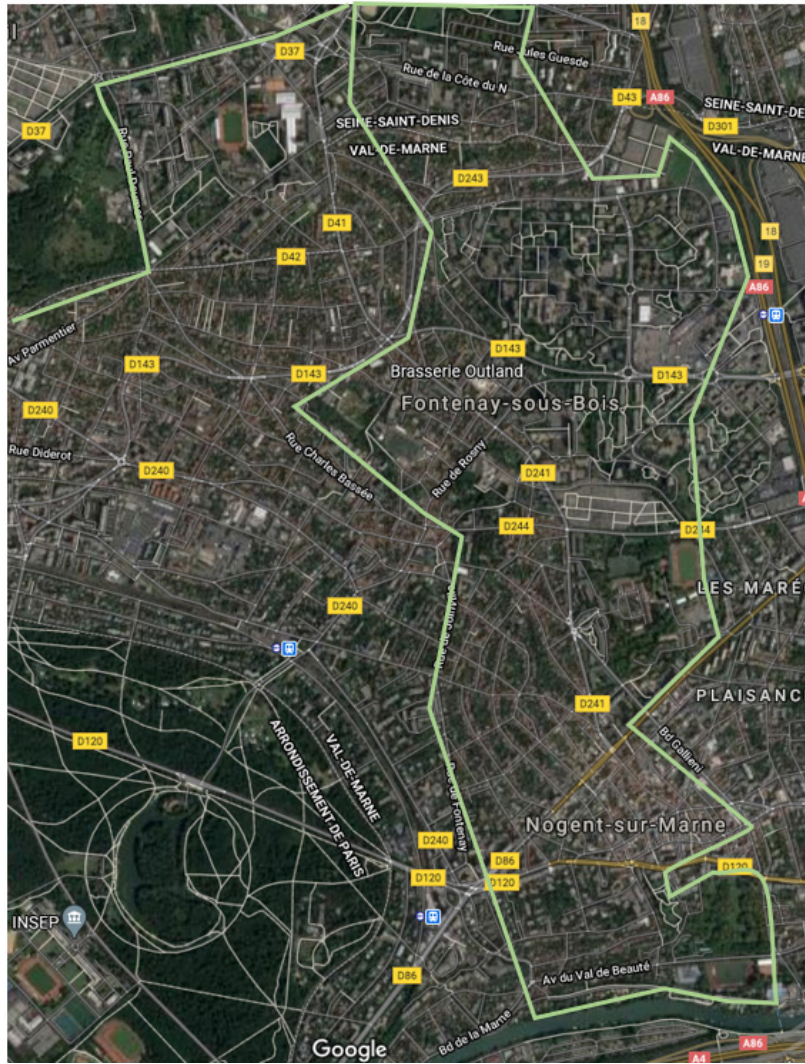


Figure 86 : zone de Fontenay-sous-Bois et Nogent-sur-Marne



Figure 87 : Fontenay-sous-Bois, rue André Tessier

## 6.8. Scénarisation des évolutions de population et des espaces verts

L'objectif du modèle de population est de répartir la population entre des zones de développement, plus dense, et les zones protégées, moins denses, et de pouvoir moduler la densité au sein des zones de développement en tenant compte des fonctions urbaines et au sein des zones protégées en fonction de leur éloignement des zones de développement. Selon la logique inhérente d'un développement axial emboîté qui s'articule autour des sous-centres fonctionnels selon une logique d'hierarchie des besoins.

Partant du scénario spatial, nous avons développé trois scénarios de répartition de la population pour Est-Ensemble basé sur la logique d'une concentration déconcentrée. L'objectif est de proposer des scénarios réalistes partant de la situation actuelle. Les trois scénarios ont été réalisés à partir du modèle du « très Grand Paris » et ensuite sur l'espace Paris-Est. Toutefois, vue leur densité, pour certaines zones de développement seulement une faible augmentation de la population paraît possible car ils sont à priori déjà en saturation. Les zones de non-développement sont à priori destinés à accueillir au maximum des zones vertes, servant à l'amélioration du climat urbain, à des activités d'agriculture urbaine et offrir des zones de loisir.

### 6.8.1. Modèle 1 : Mise en évidence des disparités

Le premier scénario correspond plutôt à une analyse de la disparité actuelle entre les zones de même ordre hiérarchique. Dans ce but le logiciel **fractalopolis** calcule le nombre moyen de ménages par ordre hiérarchique, donc par code. La figure 88 montre le résultat de cette simulation à l'échelle du Grand Paris. En bleu les zones avec un surplus de ménages et en rouges les zones déficitaires par rapport à la moyenne par niveau. On s'aperçoit qu'en première étape il existe déjà une disparité entre les sous-centre « 0 ». La zone de Mantes-la-Jolie est largement « surpeuplée » par rapport aux autres zones notamment la zone non-développée au Sud-Ouest et à l'Est. Une zone également en léger déficit est celle de Meaux.

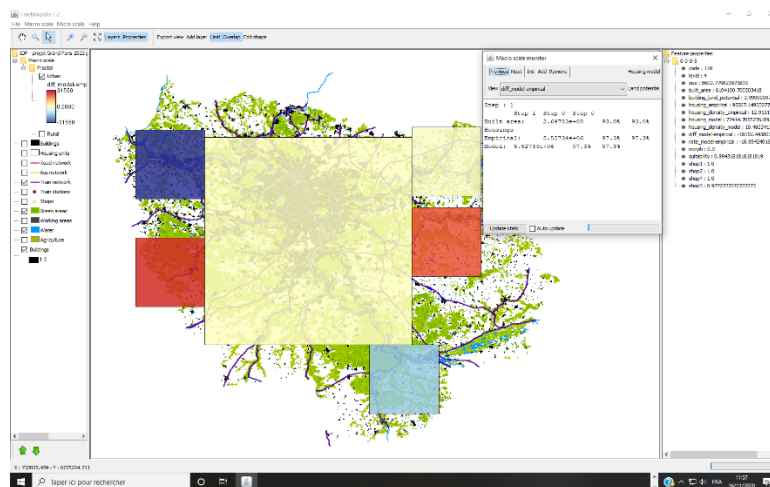


Figure 88 : la répartition des ménages entre le centre et les centres périphériques pour la première étape d'itération

En troisième itération nous remarquons que dans les zones périphériques il existe globalement un déficit de logement sauf pour la zone à l'Est où on compte un surplus de 18152 logements (figure 89). A partir de cette étape nous passons au modèle de simulation *Paris-Est* qui se focalise sur la zone considérée. L'étape d'itération suivante la dernière du projet *Très Grand Paris* met en évidence pour la zone centrale un surplus de 56615 logements (figure 90). La tendance se confirme lors des deux étapes suivantes ce qui est aussi le cas pour les zones protégées (figure 91) où on constate un surplus de 37485 logements pour la zone dont les limites sont en gras. En revanche la zone centrale montre un léger déficit de 970 logements.

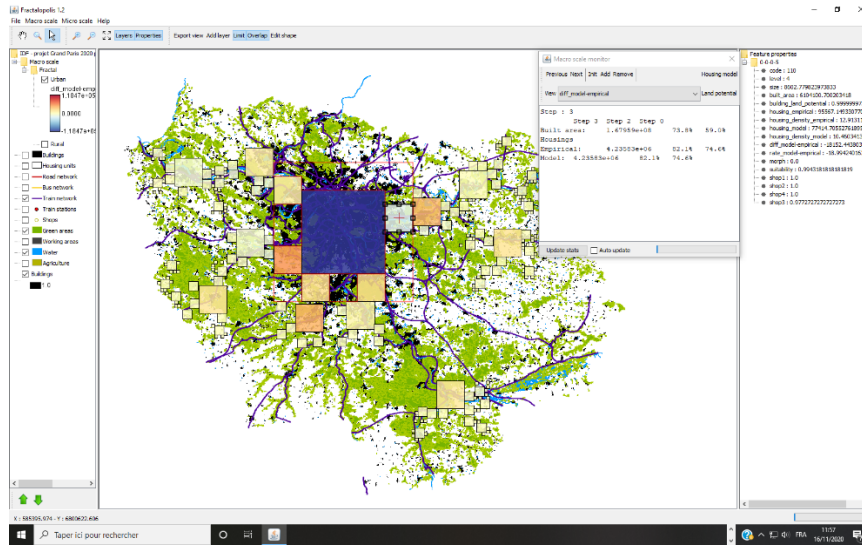


Figure 89 : Troisième étape d'itération du Très Grand Paris

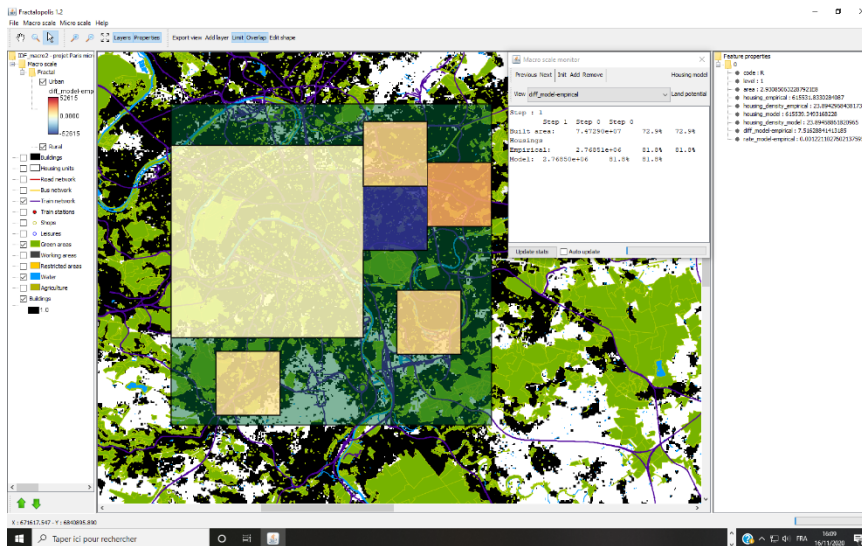


Figure 90 : La zone Paris-Est. La zone d'Est Ensemble (en bleu) montre un net surplus de ménages

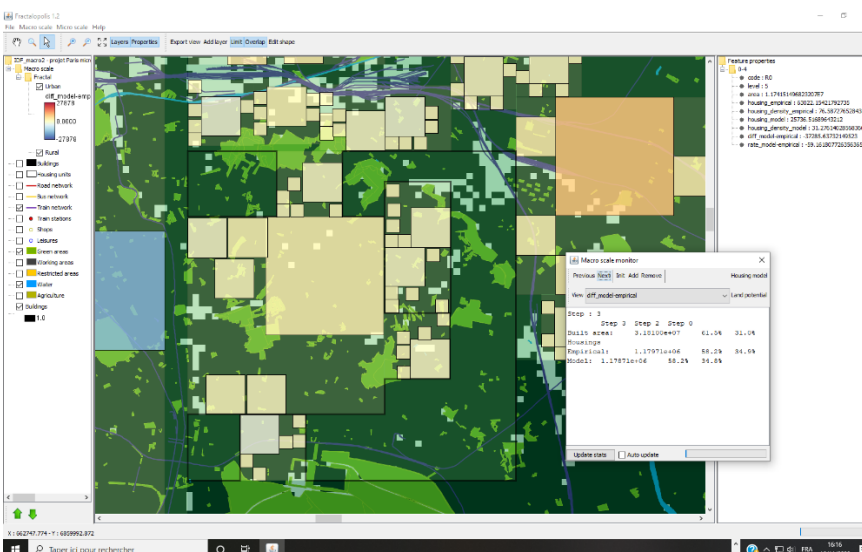


Figure 91 : Zones de développement et zones protégées en troisième étape d'itération

## 6.8.2. Modèle 2 concentration des logements dans les zones développement

A partir des données démographiques actuelles nous avons défini des paramètres qui concentrent plus de population dans les zones de développement et déconcentrent les zones protégées afin de pouvoir créer des trames vertes. De nouveau nous avons dans un premier temps travaillé à l'échelle du Grand Paris.

Les paramètres ont été modifié prudemment dans le but de rester dans des ordres de grandeur réalistes.

Le tableau 15 indique le choix des paramètres par rapport aux paramètres moyens estimés. Suivant le modèle **fractalopolis** le paramètre  $\alpha$  correspond à la part de la population des zones de développement lors de la première étape d'itération. Ce paramètre de concentration peut être choisi pour chaque étape d'itération. Ainsi  $\beta$  est celui de la deuxième et  $\gamma$  de la troisième étape d'itération. De même  $a_0$  correspond à la part de la population des zones de développement affectée lors de la première étape aux sous-centres tandis que  $a_1$  correspond à la part affectée au centre principal. La même logique tient pour les paramètres  $b_0, b_1, c_0, c_1$ .

étape		Empirique	modèle		Empirique	modèle		Empirique	modèle
1	$\alpha$	0.9731	0.95	$a_0$	0.009	0.01	$a_1$	0.955	0.95
2	$\beta$	0.9331	0.933	$b_0$	0.019	0.018	$b_1$	0.902	0.91
3	$\gamma$	0.8212	0.83	$c_0$	0.021	0.02	$c_1$	0.894	0.90

Tableau 15

Les valeurs ont été choisies après de multiples tests. L'objectif de ce scénario est de dégager de l'espace pour des zones vertes à proximité de Paris (et à Paris) pour laisser entrer les trames vertes et bleus dans les zones surdensifiées et d'affecter plus de logements aux zones plus éloignées qui sont structuré en sous-centres avec une certaine autonomie en ce qui concerne, emplois, service en commerces et équipements de loisir. Nous avons ainsi légèrement réduit la part des logements dans les zones de développement pour les premières étapes d'itération ( $\alpha, \beta$ ) ce qui veut dire que nous acceptons une légère densification dans les zones protégées lointaines. En revanche, pour les zones protégées qui se situent à proximité des zones de développement ( $\gamma$ ) nous avons légèrement augmenté le degré de concentration pour dégager ces zones de proximité et donc de pouvoir dégager plus d'espace vert de proximité. Une logique similaire a été utilisé pour la ventilation des paramètres de concentration entre centre et sous-centres.

Nous illustrons cette logique à partir de la troisième étape d'itération (figure 92) Ainsi la zone à l'Est de Paris (en bleu clair) qui s'avère de nouveau la plus surpeuplée dans l'ensemble de l'espace du Grand Paris devrait perdre 23321 logements tandis que la zone voisine (en orange) devrait accueillir 24144 logements. D'ailleurs Paris centre devrait perdre 132993 logements.

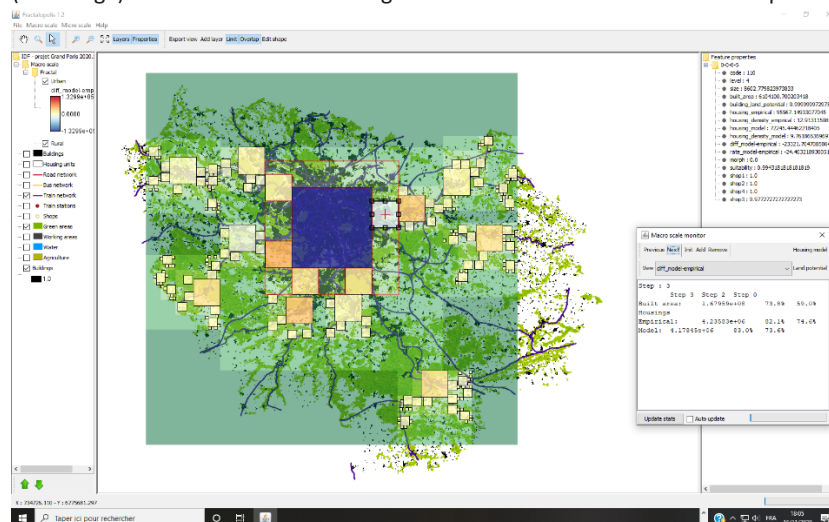


Figure 92 : modèle Très Grand Paris, reconfiguration en troisième étape

Le tableau 16 répertorie les valeurs des paramètres pour le modèle *Paris-Est*.

étape		Empirique	modèle		Empirique	modèle		Empirique	modèle
1	$\alpha$	0.8181	0.830	$a_0$	0.0347	0.034	$a_1$	0.8267	0.83
2	$\beta$	0.7325	0.750	$b_0$	0.0453	0.040	$b_1$	0.7737	0.80
3	$\gamma$	0.5817	0.650	$c_0$	0.0790	0.070	$c_1$	0.6048	0.65

Tableau 16

Les paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  favorisent la concentration dans les zones de développement pour pouvoir dégager les trames vertes à l'intérieur des zones bâties. La même logique a été appliquée pour la ventilation entre centre et sous-centres. La centralité est ainsi renforcée ce qui correspond à une diversification des degrés de concentration et donc de la structure bâtie.

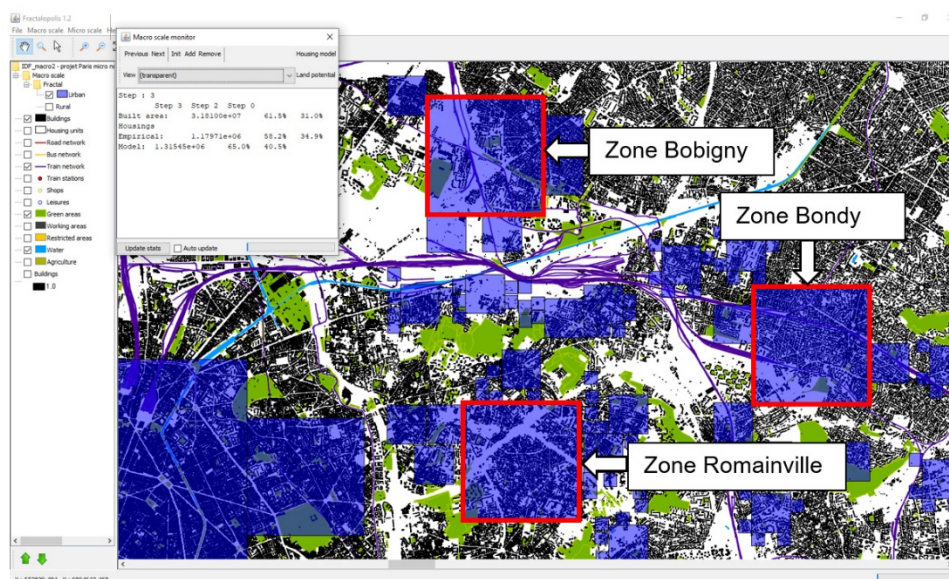


Figure 93 : Zones considérées en détail

En passant à la première étape du modèle *Paris-Est* (figures 93 et 94) nous distinguons trois zones de développement situées dans le secteur d'*Est Ensemble*. La zone Nord, Est et Sud. La zone Sud qui correspond à Montreuil/Romainville, est surpeuplée et devrait perdre 56842 logements en diminuant la densité de logements/ha de 80 à 50 tandis que la zone Nord, correspondant plutôt à Bobigny pourrait accueillir 7666 logements ce qui signifie une augmentation minimale de 48 à 53 log/ha. La zone Est de Rosny-Sous-Bois pourrait accueillir 16791 logements passant de 42 à 51 log/ha. L'ensemble à cette étape de la zone protégée devrait perdre 62855 logements et passer de 24 à 21 log/ha.

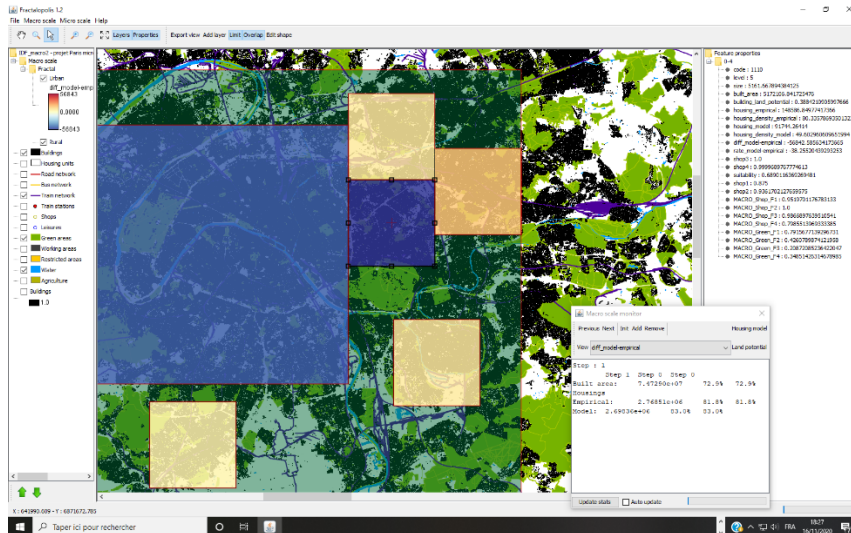


Figure 94 : Première étape d'itération du projet Paris-Est

Nous passons à l'étape la plus fine (figure 95). A cette étape la zone centrale Romainville augmente de 5052 logements tandis que dans la zone de Bobigny on constate une augmentation de 11427 logements, et à Rosny-sous-Bois de 11292 logements passant de 48 log/ha à 94 log/ha. En revanche dans la zone protégée de Montreuil/Romainville on diminue le nombre de logements de 5827 (de 89 à 69 log/ha). Dans la zone de Bobigny, la zone protégée issue de l'étape d'itération précédente perd 8775 (de 42 à 30 log/ha).

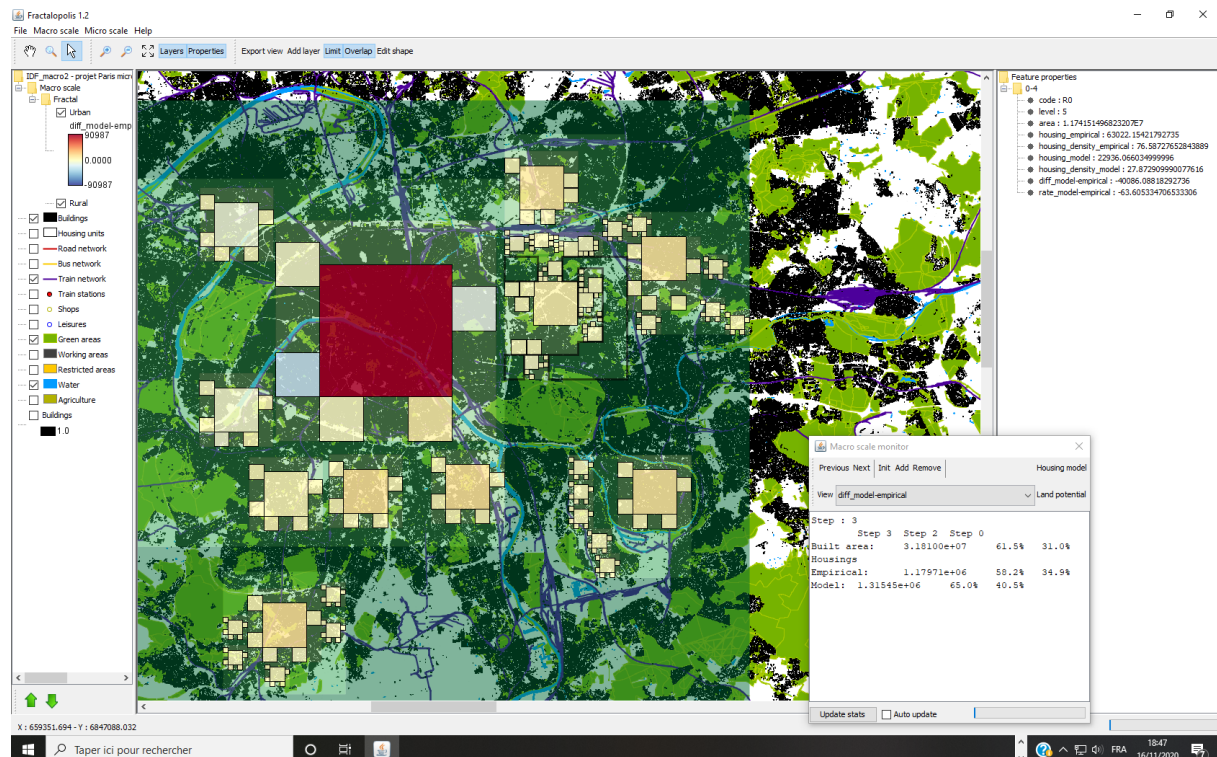


Figure 95 : Troisième étape d'itération



### 6.8.3. Modèle 3 situation future selon prévision INSEE avec concentration des logements dans les zones développement et développement de la périphérie

Dans ce modèle nous avons repris les prévisions de l'INSEE à horizon 2050. Nous avons donc calculé le facteur de croissance et utilisé ce rapport pour définir le future nombre de logements à l'échelle du *Très Grand Paris*. Le nombre de logements passe ainsi de 5679788 à 7326908. Nous avons légèrement modifié les facteurs de répartition de population au sein du système des zones de développement afin d'éviter une augmentation conséquente du nombre de logements dans les zones déjà trop dense. Voici les paramètres choisis (tableau 17) :

étape		Empirique	modèle 3	modèle 2
1	$\alpha$	0.9732	0.950	0.830
2	$\beta$	0.9332	0.933	0.750
3	$\gamma$	0.8212	0.83	0.650

Tableau 17

Nous avons donc reconcentré dans les zones de développement par rapport au modèle 1 et, comme pour le modèle 1 plus dans la première étape d'itération donc ce qui concerne les zones où se trouvent des grandes zones boisées (tableau 18).

étape		Empirique	modèle 3	modèle 2		Empirique	modèle 3	modèle 2
1	$a_0$	0.0090	0.016	0.01	$a_1$	0.955	0.92	0.95
2	$b_0$	0.0194	0.02	0.018	$b_1$	0.902	0.90	0.91
3	$c_0$	0.0219	0.02	0.02	$c_1$	0.894	0.90	0.90

Tableau 18

Pour les zones de développement nous avons augmenté la part des logements attribué en première et deuxième étape aux sous-centres, donc les plus éloignées pour décharger les zones centrales. Néanmoins, en troisième étape d'itération, le nombre de logements augmente pour la zone centrale, qui correspond à la zone départ pour le scénario détaillé *Paris-Est*, de 632730 logements ce qui correspond à un facteur d'augmentation de 1,289. En revanche en périphérie, par exemple à Meaux le facteur serait de 2,349.

Pour le modèle *Paris-Est* nous avons moins concentré dans les zones protégées pour préserver au maximum les trames vertes et bleues (tableaux 19 et 20).

étape		Empirique	modèle 2	modèle 1
1	$\alpha$	0.6719	0.750	0.830
2	$\beta$	0.5615	0.700	0.750
3	$\gamma$	0.5230	0.600	0.650

Tableau 19

étape		Empirique	modèle 2	modèle 1		Empirique	modèle 2	modèle 1
1	$a_0$	0.0719	0.034	0.034	$a_1$	0.6407	0.83	0.83
2	$b_0$	0.0964	0.044	0.040	$b_1$	0.5182	0.78	0.80
3	$c_0$	0.0830	0.074	0.070	$c_1$	0.5848	0.63	0.65

Tableau 20

Nous avons légèrement déconcentré les zones de développement par rapport au modèle 2.

En première itération (Figure 96) le nombre de logement est réduit pour la zone de Montreuil/Romainville de 42159 par rapport à la situation actuelle, avec une densité de 55 log/ha au lieu de 50 log/ha pour le modèle 2. Pour la zone de Bobigny nous passons à 18349 logements au lieu de 7666 (modèle 2) et ainsi de 53 à 59 log/ha.

Le parc de logements de la zone de Rosny-sous-Bois devrait passer à 27474 de plus au lieu de 16791 logements (modèle 2) et ainsi la densité par ha augmentera de 51 à 57 log/ha.

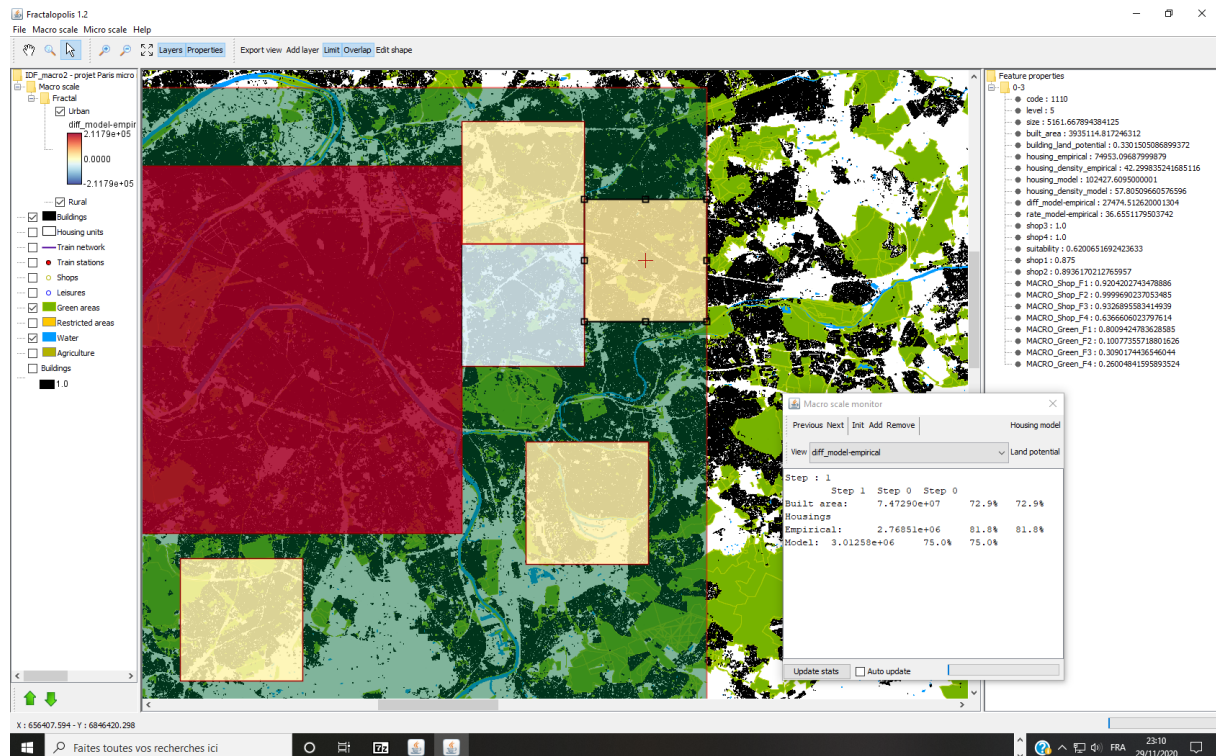


Figure 96 : le projet futur, première étape d'itération

A l'étape finale le nombre de logements diminue toujours encore dans les zones protégées, dans celle de Romainville de 2723 par rapport à 5827 dans le modèle 2 (80 log/ha au lieu de 69 log/ha dans le modèle 2). Romainville centre augmente mais plus légèrement de 2935 logements au lieu de 5052. A Bobigny centre on passe à 9310 au lieu de 11427 (modèle 2) et ainsi 89 log/ha au lieu de 98 log/ha dans le modèle 2. Ceci est vrai aussi pour Rosny-sous-Bois où le nombre de logements augmente de 9175 au lieu de 11292 logements et on passe à 86 log/ha par rapport à 94 (modèle 2). La zone protégée de Bobigny perd seulement encore 983 logements et reste à 40 log/ha). Globalement on constate que les paramètres choisis pour le modèle 3 déconcentrent plus dans le secteur de d'Est-Ensemble que le modèle 2.

## 6.9. Calculs des accessibilités

Les éléments de diagnostic transport et énergie sur le territoire montrent un territoire proche de Paris, mais encore insuffisamment connecté par le réseau de transport en commun lourd, et avec une très forte dynamique de projets et de potentiel de développement.

Par ailleurs, comme c'est généralement le cas dans les diagnostics transport, les déplacements domicile-travail sont les seuls considérés. Or, ces mobilités pendulaires ne constituent qu'une partie seulement des déplacements effectués sur un territoire, à partir de ce territoire ou vers ce territoire, et influent très peu sur les choix de localisation des ménages. Nous avons donc voulu compléter ce diagnostic par une analyse spatiale multi-échelle de l'accessibilité du territoire à différentes aménités, de manière à comprendre d'une part sa position dans l'agglomération parisienne et dans la zone plus restreinte constituée de Paris et de sa petite couronne, qui est le territoire privilégié du Grand Paris, et d'autre part son potentiel local de services.

Nous nous focalisons ici sur les deux scénarios proposés, la reconfiguration de la répartition des ménages et la simulation de la situation future. Figure 97 montre la localisation des commerces et services, tous niveaux confondus.

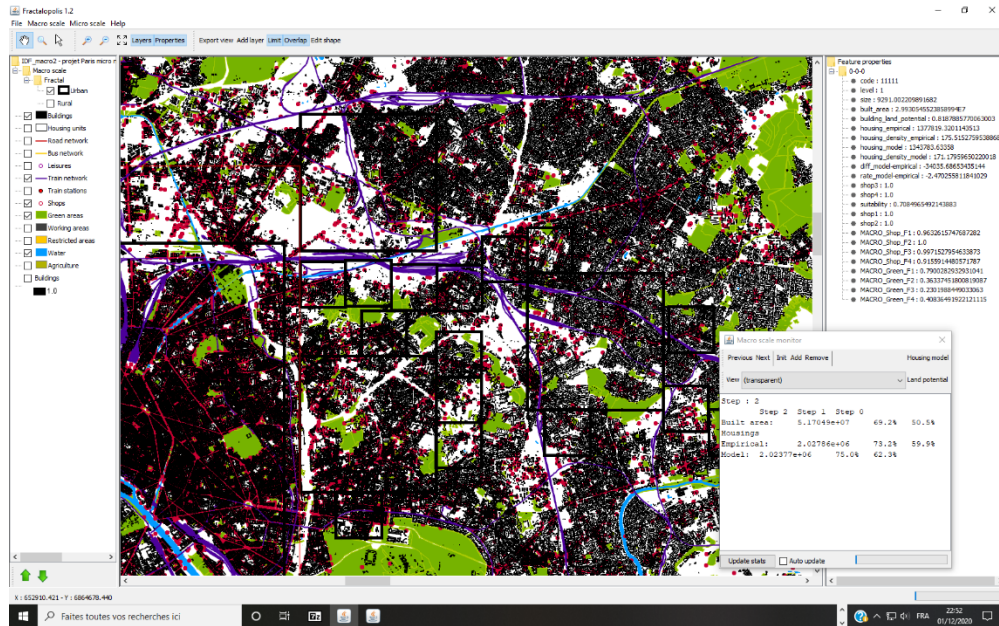


Figure 97 : la localisation des commerces et services, tous les niveaux confondus

Afin d'être le plus réaliste que possible concernant l'offre d'espace vert, nous avons complété les bases cartographiques et nous avons classé les espaces verts selon les critères introduits précédemment. La figure 98 montre les espaces et leur classification. En outre nous avons pour le scénario futur ajouté quelques espaces verts que nous considérons comme indispensable à protéger. Il s'agit essentiellement de la trame bleue le long du canal de l'Ourcq (cf. figure 99) et essentiellement de quelques espaces à Romainville et Montreuil.



Figure 98 : Répartition des espaces verts existants selon leur niveau hiérarchique et la localisation des zones vertes ajoutées pour le scénario 3

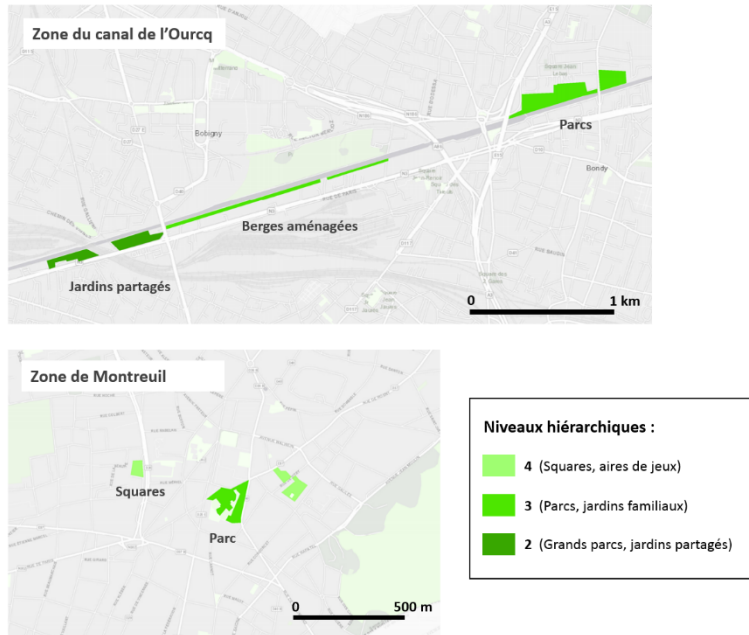


Figure 99 : Zoom sur les projets d'espaces verts localisés au bord du canal de l'Ourcq et à Montreuil

La figure 100 montre les points d'accès aux espaces verts c'est-à-dire les intersections entre les zones verte et le système routier

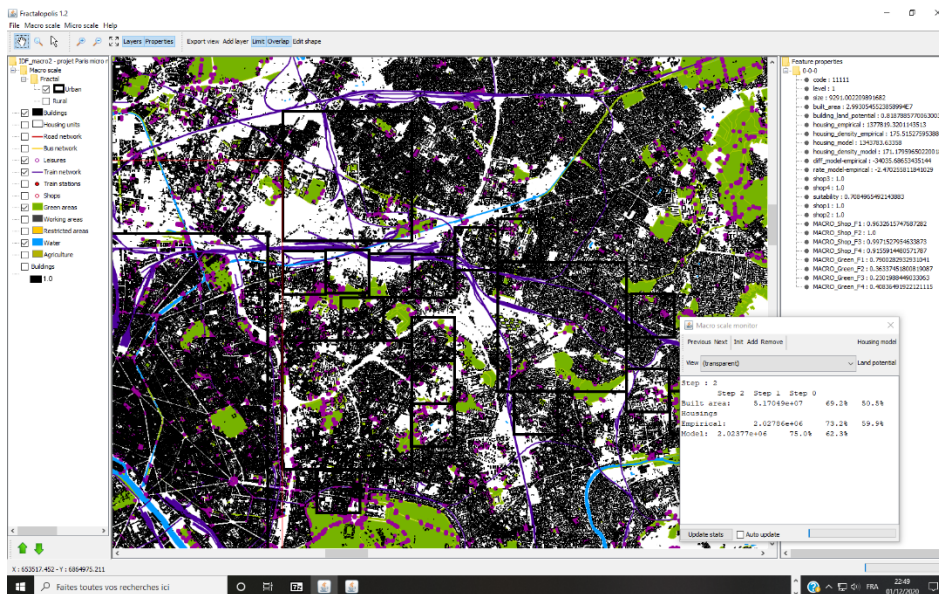


Figure 100 : localisation des points d'accès aux espaces verts tous les niveaux confondus

## 6.9.1. Modèle 2 : concentration des logements dans les zones développement

### 6.9.1.1. Aperçu

Nous illustrons d'abord les accessibilités aux différentes aménités à partir de représentations cartographiques. Nous rappelons que le niveau 4 est celui des aménités « banales » qui devraient bénéficier d'une bonne accessibilité.

Dans le codage cartographique le vert correspond à une mauvaise évaluation, le rouge à une bonne évaluation.

Nous considérons ensuite en détail les zones centrales de Bobigny, de Romainville/Montreuil et de Bondy.

Sont considérées uniquement les zones de développement, mais une cartographie plus agrégée permettra d’avoir une vision plus globale incluant les zones protégées.

Nous considérons d’abord les trois zones retenues dans la première étape d’itération du projet *Paris-Est* ce qui nous permet d’avoir un aperçu sur la satisfaction à une échelle agrégée du territoire faisant partie d’Est-Ensemble (figure 101). Nous les désignons comme Bobigny, Romainville/Montreuil et Bondy/Rosny-sous-Bois. Le tableau 21 donne un aperçu sur les satisfactions.

	services/commerces niveau :				loisir/trames vertes niveau :				global
	4	3	2	1	4	3	2	1	
Bobigny	0.7276	0.9719	0.9956	0.8781	0.2978	0.2034	0.4302	0.7773	0.6602
Romainville	0.7938	0.9873	1.0000	0.9434	0.4165	0.2702	0.5098	0.8318	0.7191
Bondy	0.6352	0.9327	1.0000	0.9204	0.2601	0.3037	0.1060	0.8009	0.6199

Tableau 21

Nous constatons que la satisfaction est globalement assez bonne pour les services et commerces. Nous verrons plus tard qu’en passant à des zones plus fine la situation est bien plus nuancée. En revanche, elle est mauvaise pour les espaces verts sauf au niveau 1 qui, nous le rappelons, prend juste en compte la présence dans l’aire métropolitaine mais pas les distances.

Nous donnons deux exemples de représentation de la satisfaction, le niveau 4, donc le niveau de proximité immédiate, des services et commerces (figure 101) et des espaces verts (figure 102).

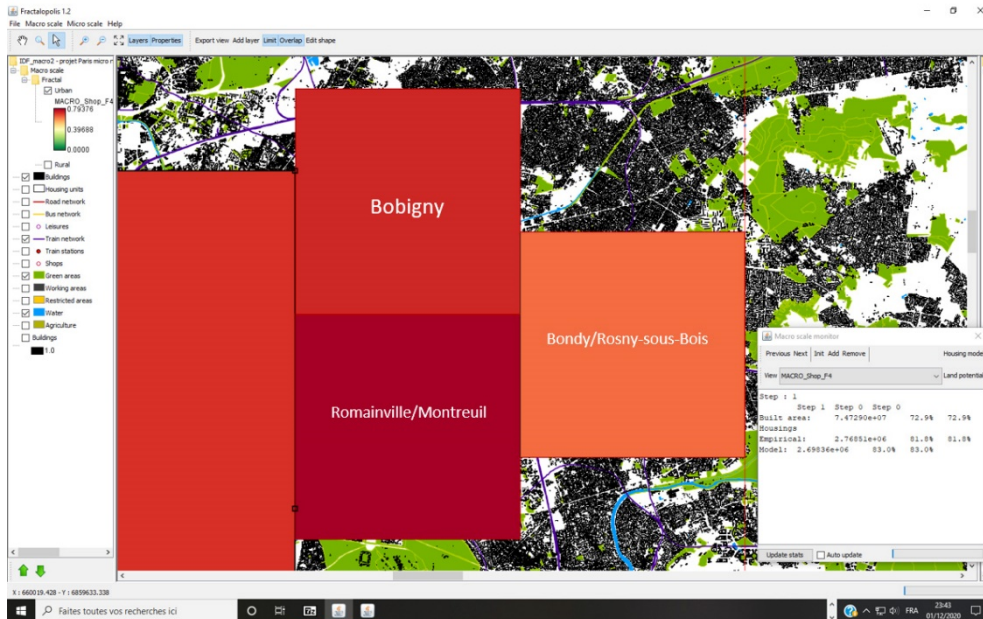


Figure 101 : Les zones d’étude et le niveau 4 des commerces et services

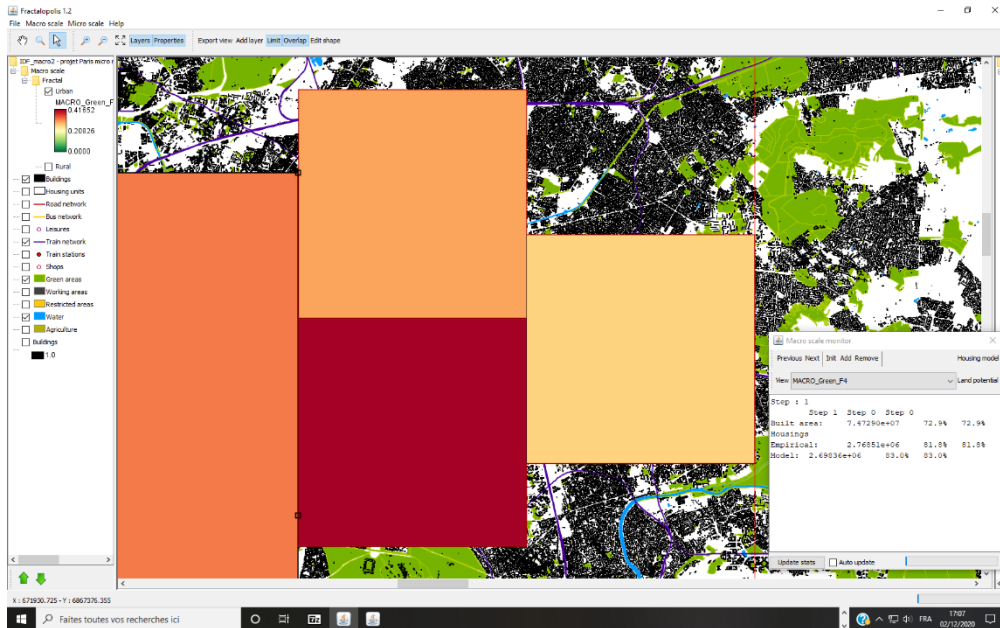


Figure 102 : Le niveau 4 des espaces verts

### 6.9.1.2. Evaluation des services et commerces

Nous passons maintenant aux satisfactions à l'échelle fine de la troisième étape d'itération pour laquelle nous représentons l'ensemble des évaluations pour faire ressortir les différences entre les différentes zones.

Nous constatons pour les services/ commerces de proximité l'accessibilité n'est en général pas excellente (Figure 103) sauf pour quelques zones, comme celle entourée de rouge qui se situe en marge de Pantin et pour laquelle les satisfactions se situent à 0.9400 à 0.9888.

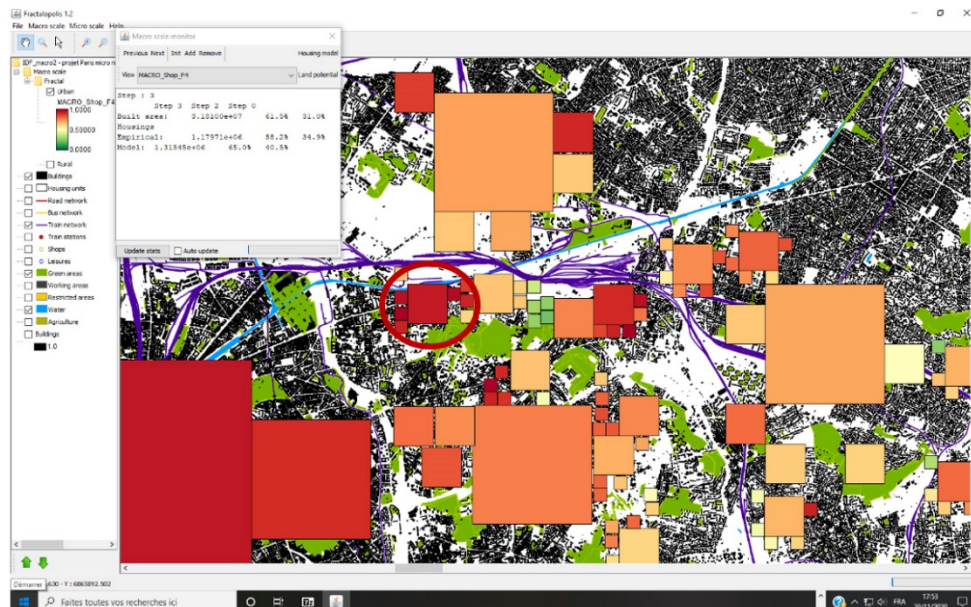


Figure 103 : Les accessibilités au services/commerces niveau 4 (banaux)

A l'échelle des services plutôt avec un recours plutôt hebdomadaire pour lequel nous admettons donc des distances d'accès plus grandes, la qualité d'accessibilité est bien meilleure (Figure 103).

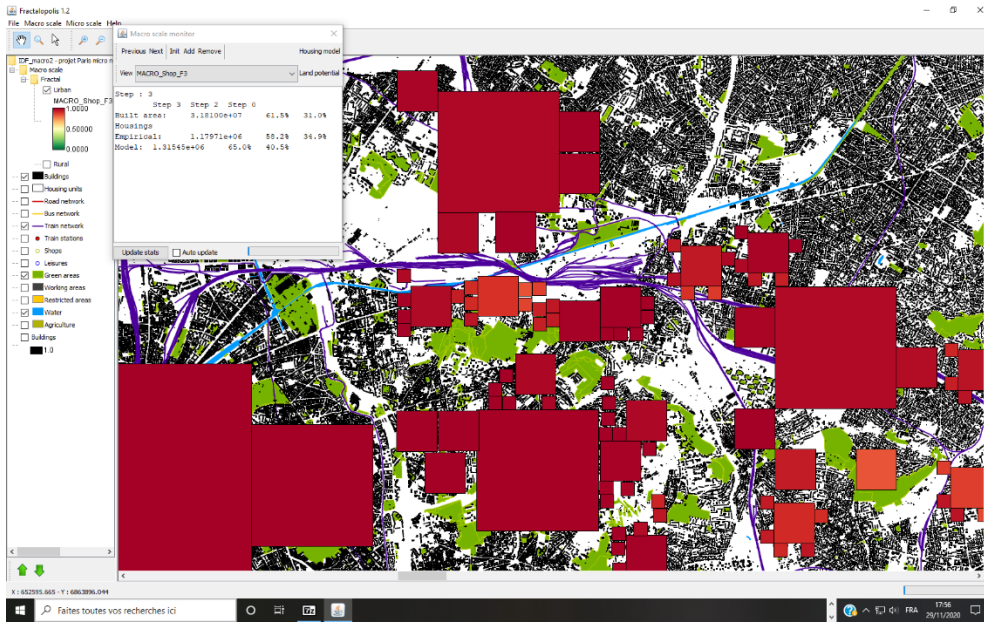


Figure 104 : Les accessibilités au services/commerces niveau 3

Comme le montre la figure 104. La situation est la même pour les services et commerces du niveau plutôt de fréquentation mensuelle.

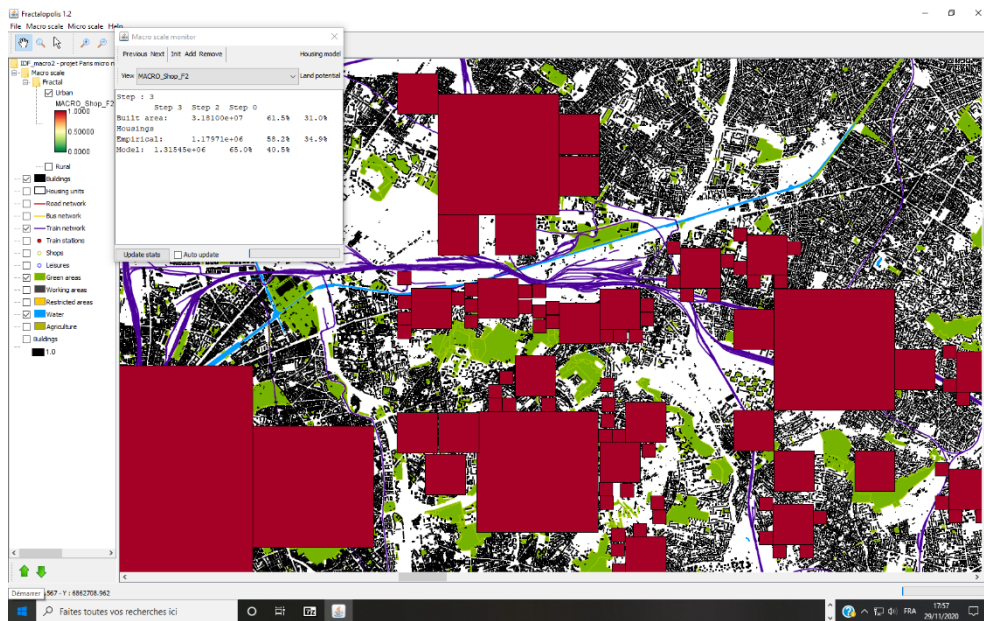


Figure 105 : Les accessibilités au services/commerces niveau 2

Pour les services/commerces rares la situation est plus différenciée. Elle est moins bonne dans le secteur Nord (Bobigny) (Figures 105 et 106).

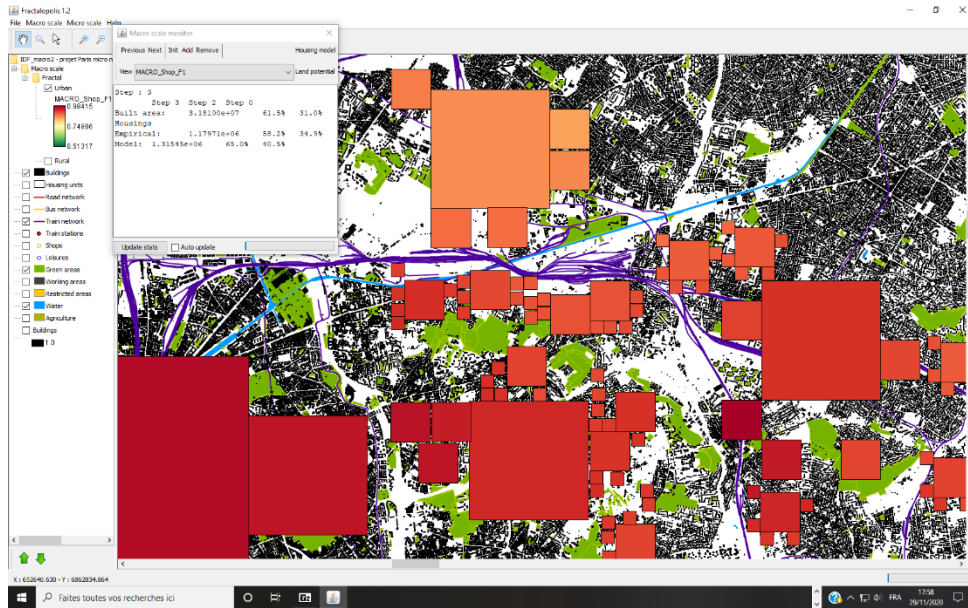


Figure 106 : Les accessibilités au services/commerces niveau 1

### 6.9.1.3. Évaluation des zones de loisirs/zones vertes.

Globalement l'accessibilité est assez mauvaise à l'échelle locale (niveau 4, figure 107). Ceci montre que les ménages ont peu d'accès à de zone de loisir à proximité de leur logement ce qui met en évidence un manque d'espaces verts à l'échelle locale qui est aussi un mauvais signe pour le climat urbain.

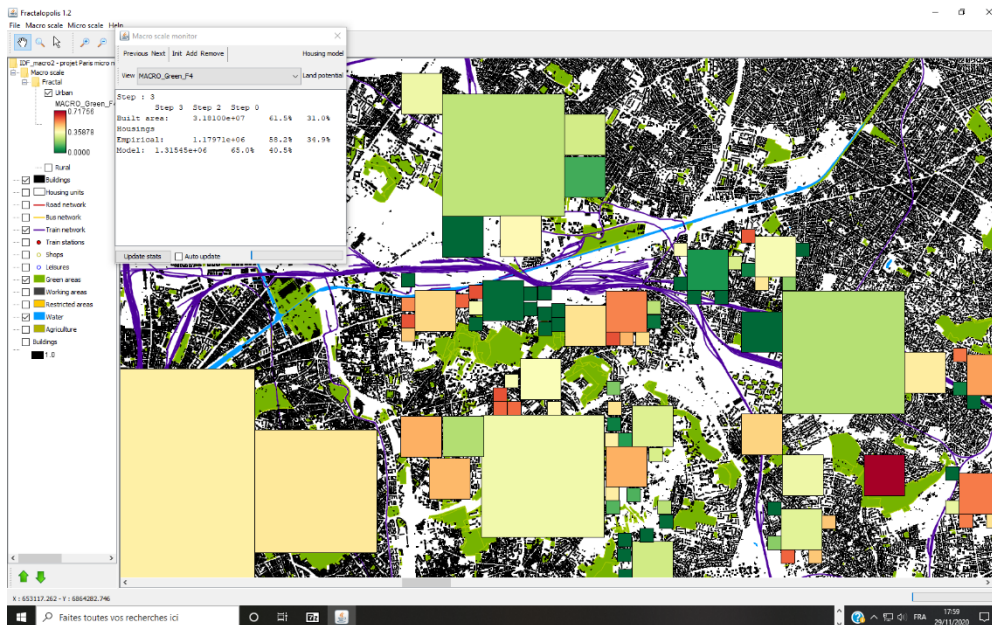


Figure 107 : accessibilité zone de loisir niveau 4

Il s'avère que la situation est encore moins bonne au niveau supérieur (figure 108).



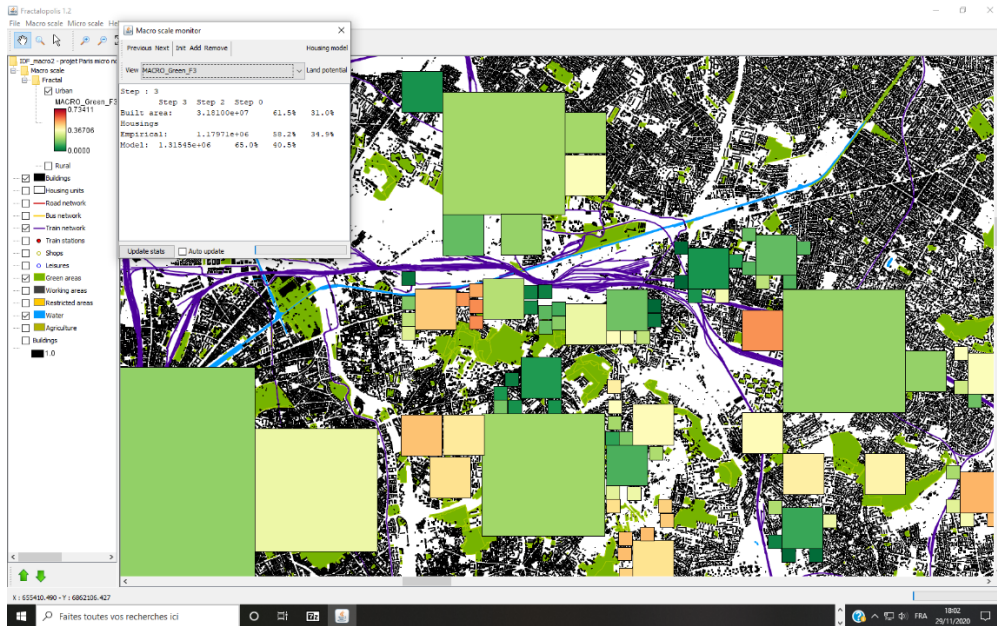


Figure 108 : accessibilité zone de loisir niveau 3

Cependant à partir du niveau 2 la situation s'améliore considérablement pour la zone de Romainville ce qui s'explique par la présence du Bois de Vincennes qui entre dans cette catégorie (figures 109 et 110).

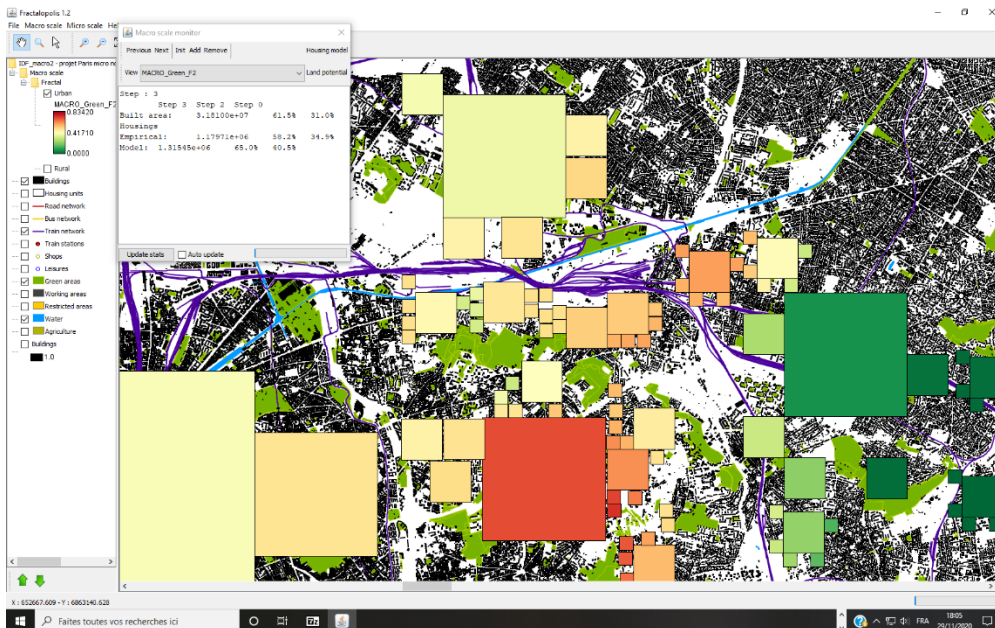


Figure 109 : accessibilité zone de loisir niveau 2

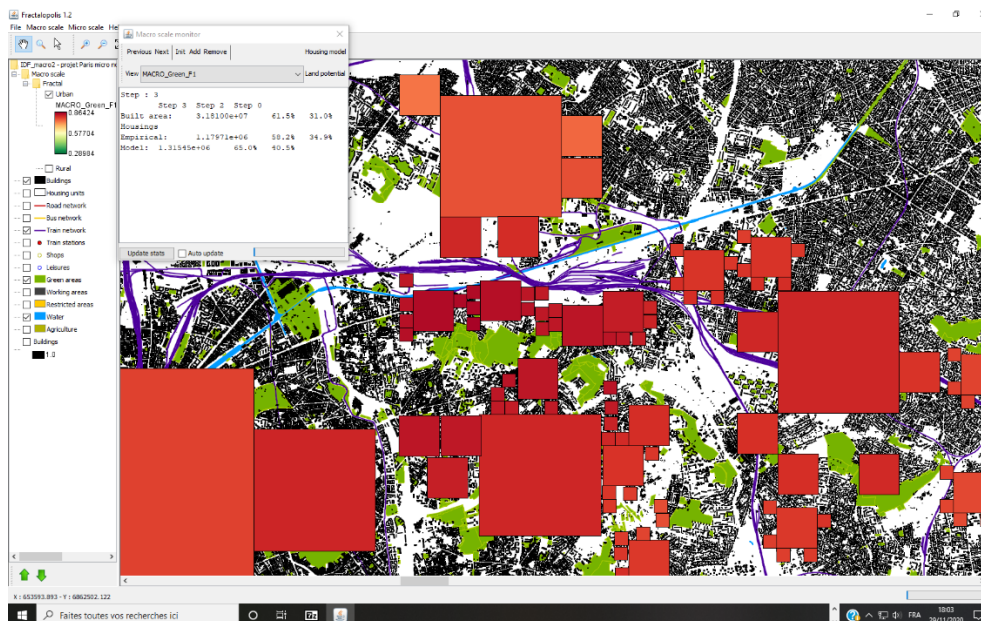


Figure 110 : accessibilité zone de loisir niveau 1

Nous comparons maintenant les trois zones de Bobigny, Romainville et Bondy de façon plus détaillée en ajoutant l'évaluation globale (tableau 22) :

	services/commerces niveau :				loisir/trames vertes niveau :				global
	4	3	2	1	4	3	2	1	
Bobigny	0.7189	0.9813	1.0000	0.866	0.2517	0.2194	0.3827	0.7750	0.6492
Romainville	0.7708	0.9958	1.0000	0.9450	0.3339	0.2157	0.7112	0.8180	0.7238
Bondy	0.7101	0.9774	1.0000	0.9366	0.2389	0.2034	0.07430	0.8184	0.6199

Tableau 22

On constate en effet que l'accessibilité est la moins bonne à l'échelle locale ce qui met en évidence un manque d'équipements à cette échelle. En général l'accessibilité aux espaces verts est très mauvaise à l'échelle locale ce qui est signe de la surdensification de la zone car pour l'évaluation sont aussi pris en compte les accès aux aménités hors zone ce qui joue un rôle pour les sites en bordure des zones.

## 6.9.2. Modèle 3 : situation future selon prévision INSEE avec concentration des logements dans les zones développement et développement de la périphérie

### 6.9.2.1. Aperçu

Rappelons que pour ce scénario trois éléments ont été modifiés par rapport au scénario précédent :

- Le nombre de ménages a été modifié ;
- les facteurs de répartition ont été changé dans le but de délester cette zone par rapport à la croissance totale ;
- les espaces verts ont été ajoutées en cohérence avec nos préconisations.

En revanche le tissu commercial et de services est resté inchangé. Notons toutefois qu'il serait possible d'injecter à travers une base de données SIG de modifier cette offre.

De nouveau nous illustrons dans un premier temps les accessibilités aux différentes aménités.

Comme au précédent, dans le codage cartographique le vert correspond à une mauvaise évaluation, le rouge à une bonne évaluation.

Nous considérons ensuite de nouveau en détail les zones centrales de Bobigny, de Romainville/Montreuil et de Bondy et comparons les résultats avec le **modèle 2**.

Nous considérons de nouveau d'abord les trois zones de Bobigny, Romainville/Montreuil et Bondy/Rosny-sous-Bois. Le tableau 23 donne un aperçu sur les satisfactions.

	*	services/commerces niveau :				loisir/trames vertes niveau :				global
		4	3	2	1	4	3	2	1	
Bobigny	<b>3</b>	<b>0.7283</b>	<b>0.9719</b>	<b>0.9956</b>	<b>0.8781</b>	<b>0.2984</b>	<b>0.2342</b>	<b>0.4334</b>	<b>0.7773</b>	<b>0.6646</b>
	2	0.7276	0.9719	0.9956	0.8781	0.2978	0.2034	0.4302	0.7773	0.6602
Romainville	<b>3</b>	<b>0.7949</b>	<b>0.9873</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9434</b>	<b>0.4233</b>	<b>0.2867</b>	<b>0.4914</b>	<b>0.8318</b>	<b>0.7198</b>
	2	0.7938	0.9873	1.0000	0.9434	0.4165	0.2702	0.5098	0.8318	0.7191
Bondy	<b>3</b>	<b>0.6367</b>	<b>0.9327</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9204</b>	<b>0.2601</b>	<b>0.3090</b>	<b>0.1008</b>	<b>0.8009</b>	<b>0.6201</b>
	2	0.6352	0.9327	1.0000	0.9204	0.2601	0.3037	0.1060	0.8009	0.6199

Tableau 23

Nous constatons que la satisfaction a augmenté pour les commerces de proximité ce qui s'explique par l'augmentation de la part des ménages concernés. De nouveau en passant à des zones plus fine la situation est bien plus nuancée. Pour les espaces verts on constate une meilleure satisfaction pour Bobigny et Romainville pour les niveaux 4 et 3, pour Bondy pour le niveau 3. Ceci s'explique par l'ajout des quelques espaces verts. En revanche pour Romainville et Bondy la satisfaction diminue pour le niveau 2 et augmente pour Bobigny. Le niveau 1 qui, prend seulement en compte la présence dans l'aire métropolitaine reste inchangé.

Nous représentons de nouveau la satisfaction du niveau 4 des services et commerces (figure 111) et des espaces verts (figure 112).

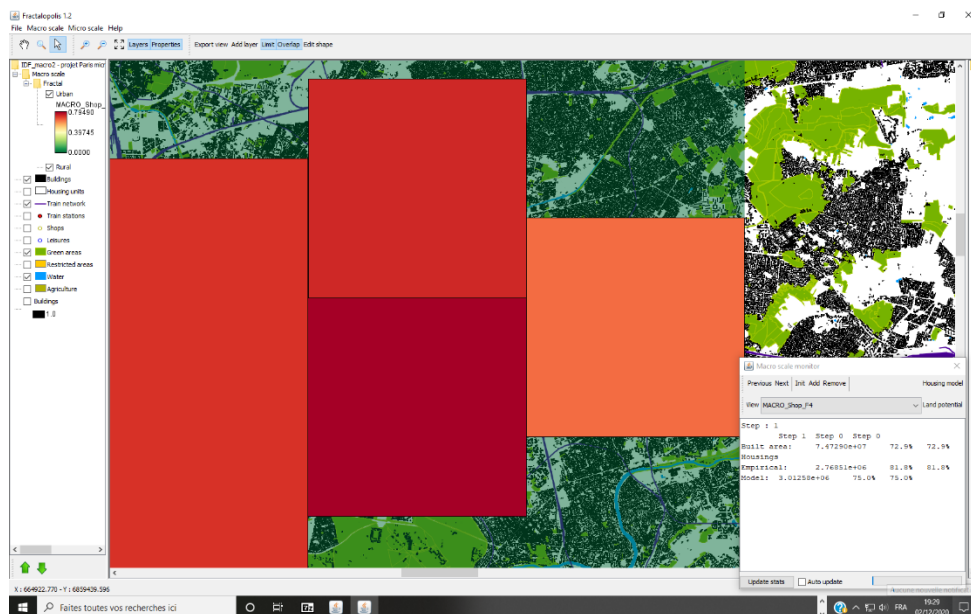


Figure 111 : Le niveau 4 des commerces et services

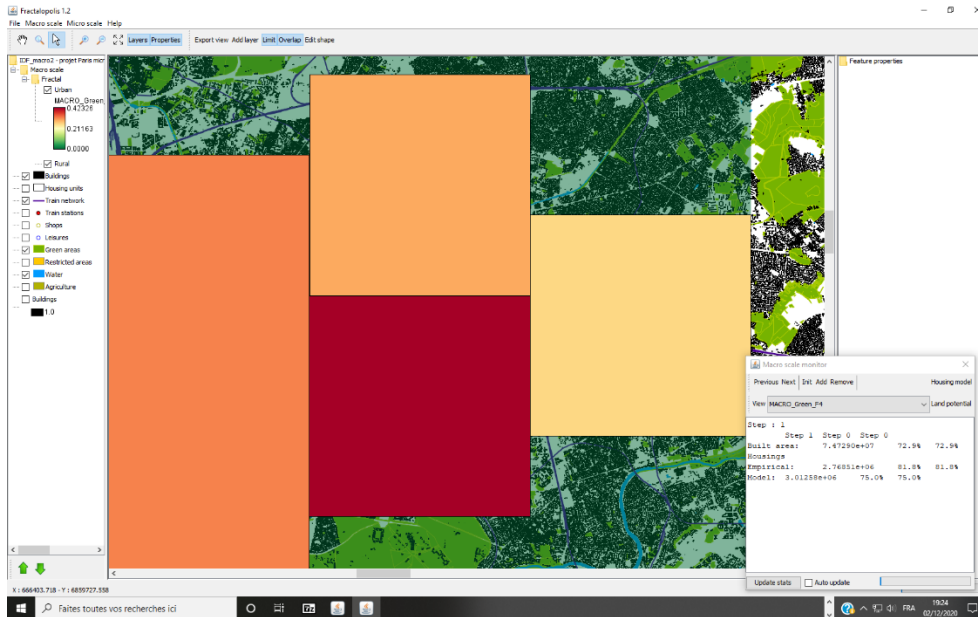


Figure 112 : Le niveau 4 des espaces verts

### 6.9.2.2. Évaluation des services et commerces

Nous constatons pour les services/commerces de proximité que l'accessibilité reste en général inchangée ce qui n'est pas surprenant (Figure 113).

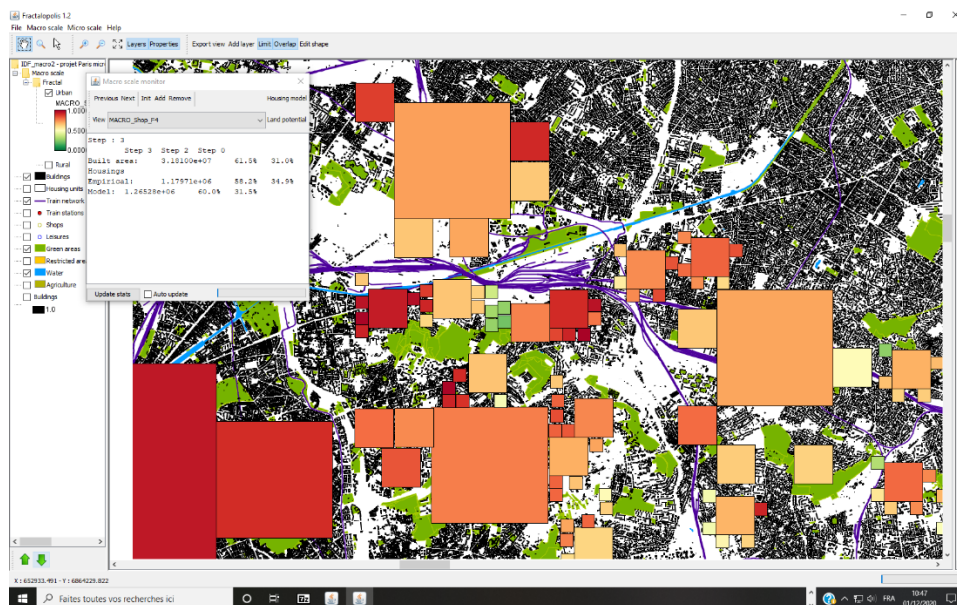


Figure 113 : Les accessibilités au services/commerces niveau 4 (banaux)

A l'échelle des services plutôt avec un recours plutôt hebdomadaire, la qualité d'accessibilité reste la même et est donc bien meilleures (Figure 114).

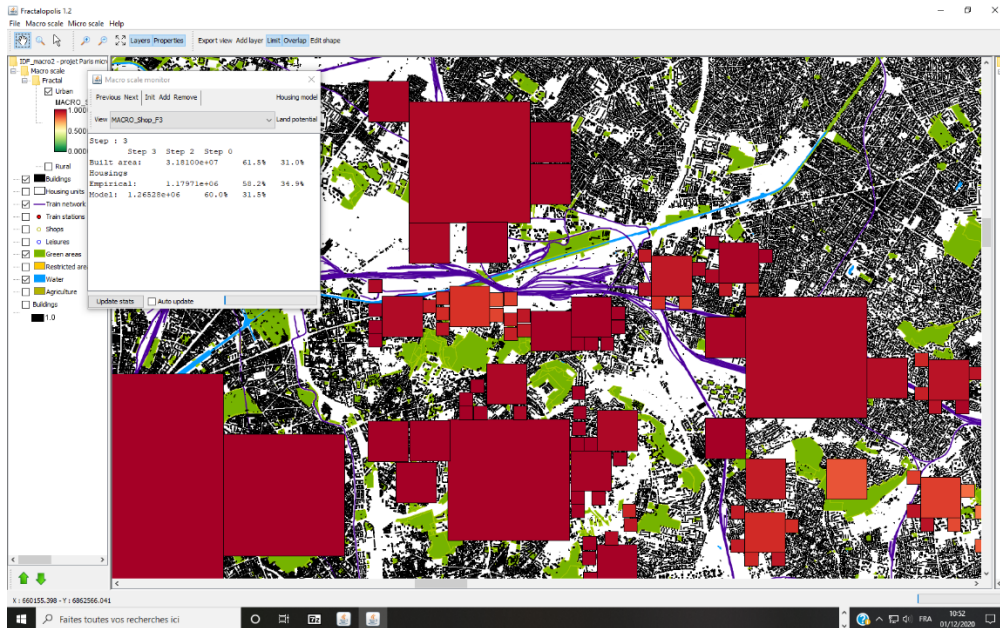


Figure 114 : Les accessibilités au services/commerces niveau 3

La situation est de nouveau la même pour les services et commerces du niveau plutôt de fréquentation mensuelle comme le montre la figure 115

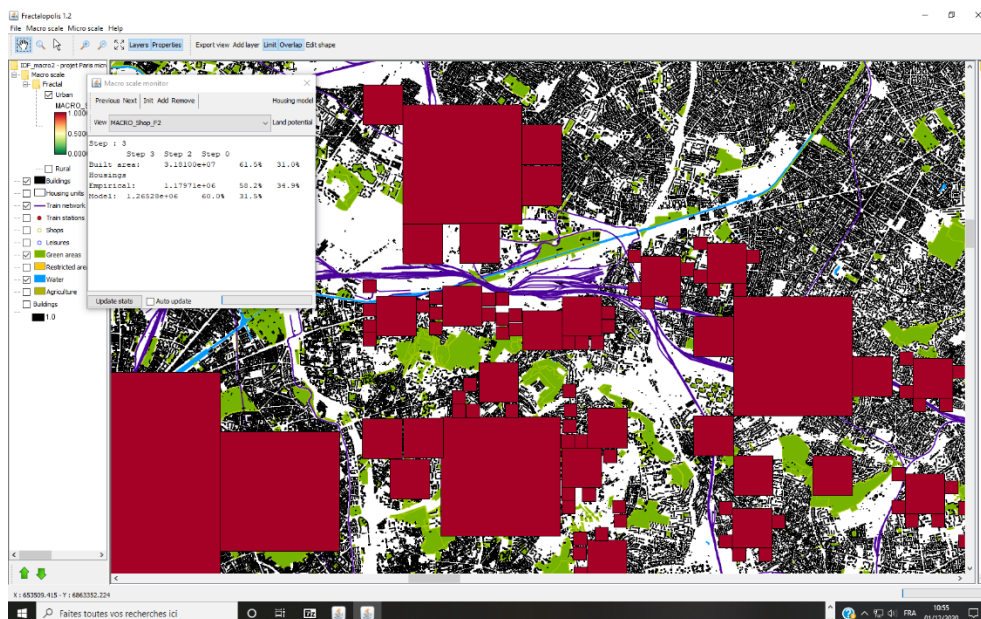


Figure 115 : Les accessibilités au services/commerces niveau 2

Pour les services/commerces rares la situation est comme au précédent à nuancer. Elle est moins bonne dans le secteur Nord (Bobigny, Figure 116).

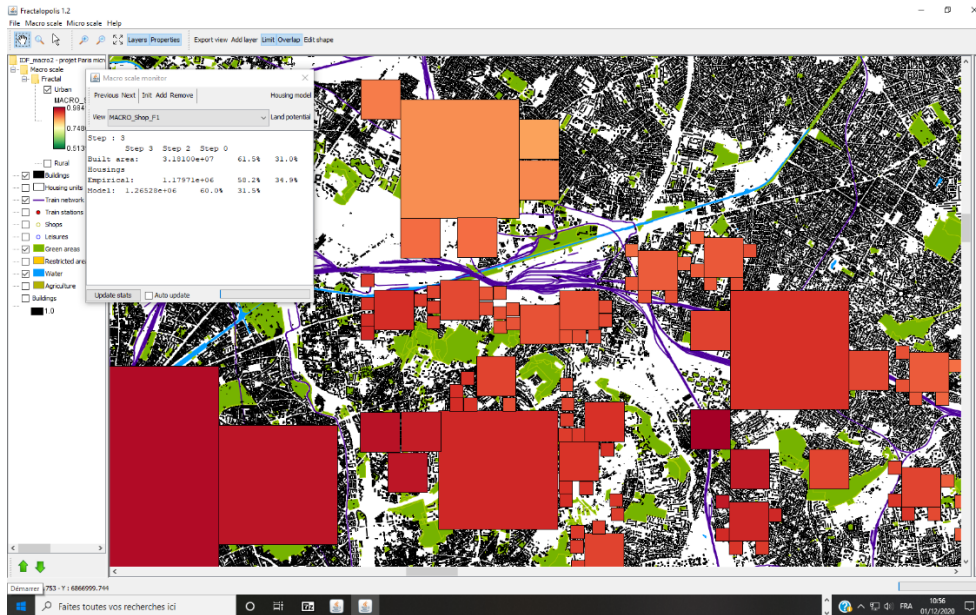


Figure 116 : Les accessibilités au services/commerces niveau 1

### 6.9.2.3. Évaluation des zones de loisirs/zones vertes.

Globalement la satisfaction reste médiocre à l'échelle locale (niveau 4, figure 117). Cependant l'ajout de zones vertes améliore localement légèrement la situation comme le montreront les valeurs pour les zones de Bobigny, Romainville et Bondy.

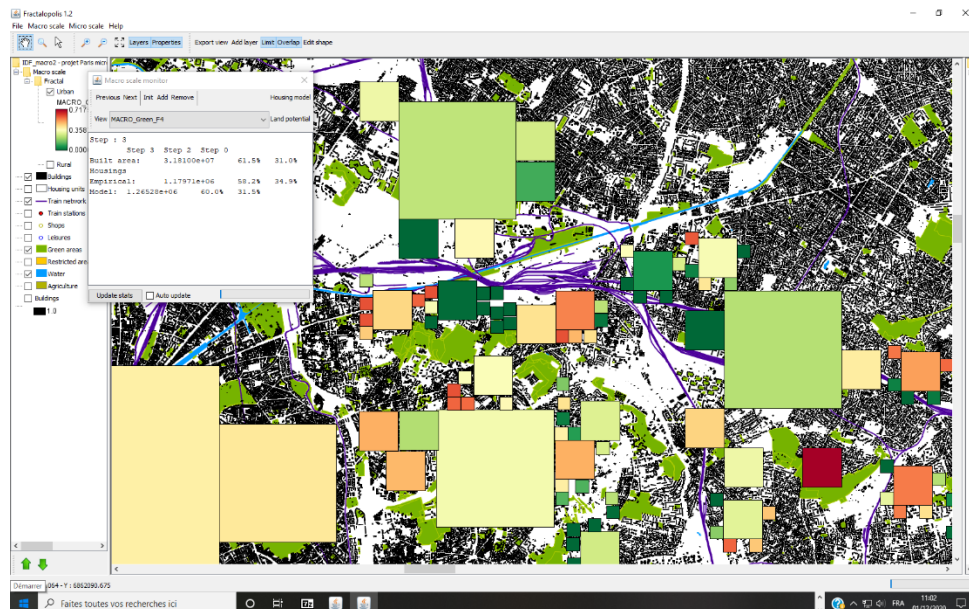


Figure 117 : accessibilité zone de loisir niveau 4

La situation reste encore moins bonne au niveau supérieur (figure 118).

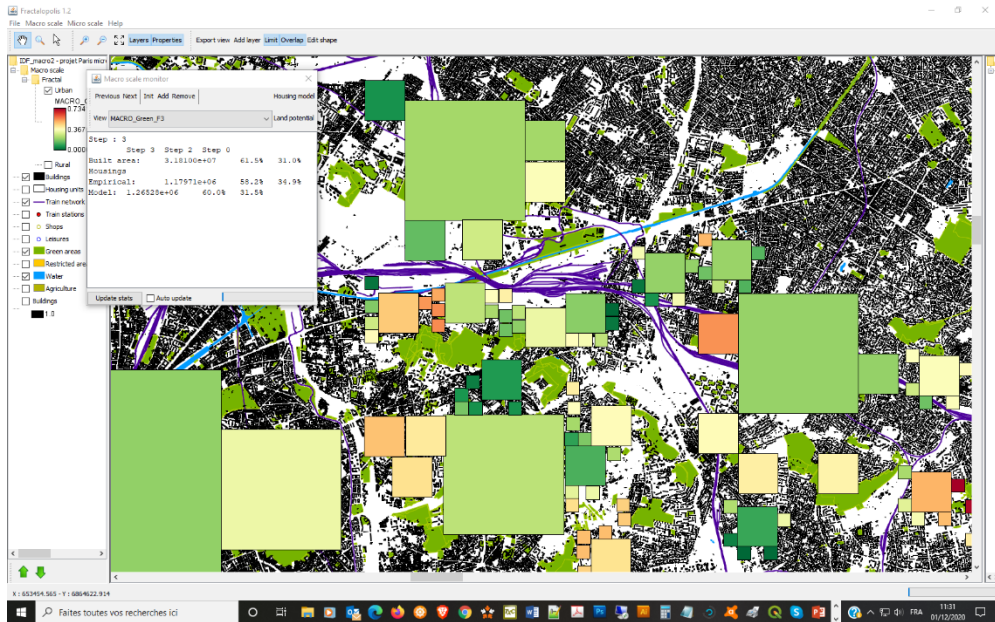


Figure 118 : accessibilité zone de loisir niveau 3

On constate une légère amélioration par rapport au modèle 2 pour le secteur de Romainville (figures 119).

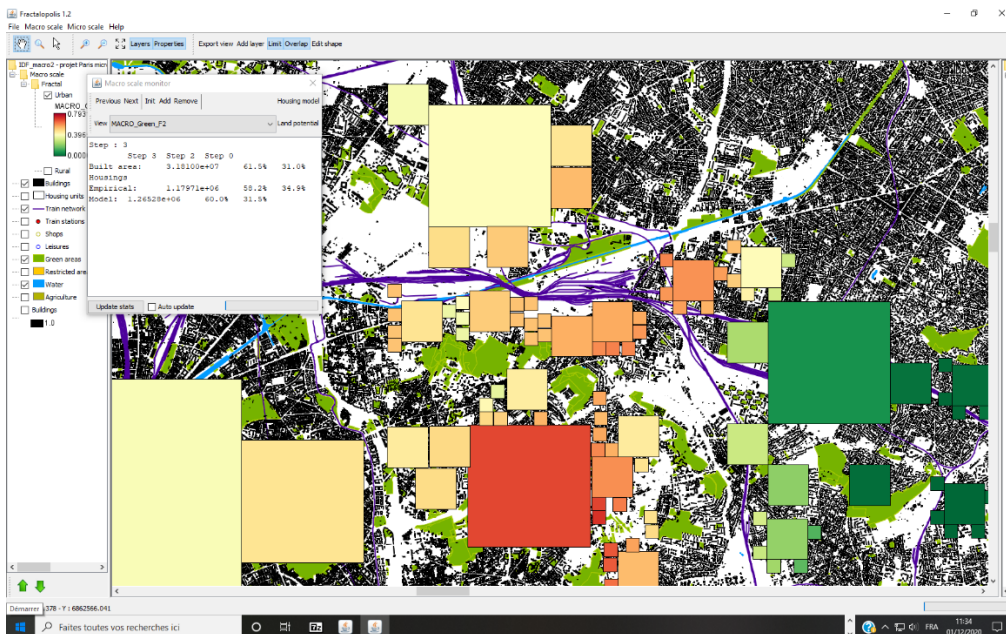


Figure 119 : accessibilité zone de loisir niveau 2

La situation reste inchangée au niveau 1 (Figure 120) :

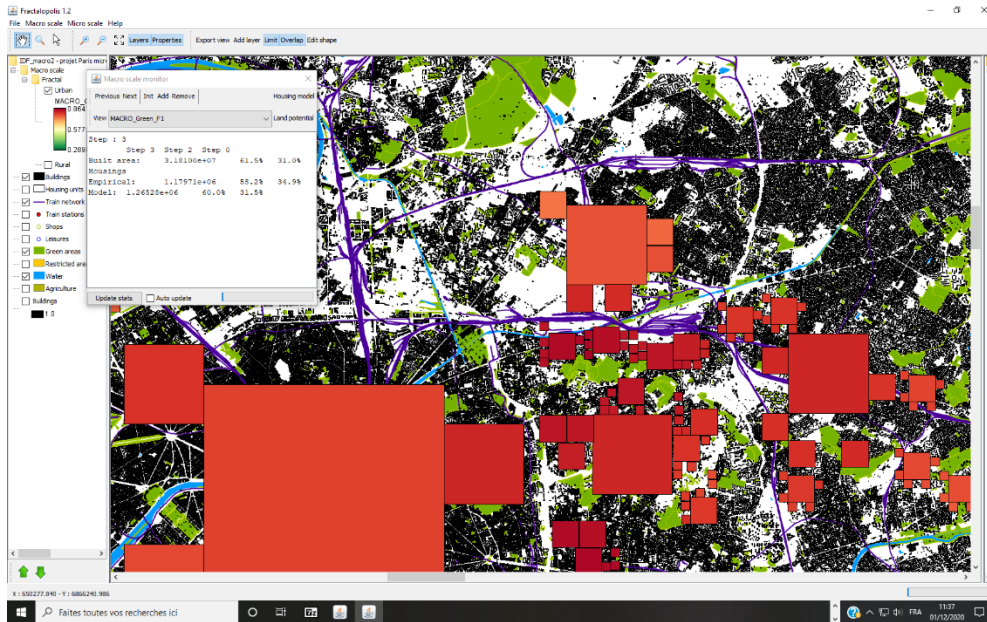


Figure 120 : accessibilité zone de loisir niveau 1

Nous comparons maintenant les trois zones de Bobigny, Romainville et Bondy de façon plus détaillée en comparant avec les résultats du modèle 2 (tableau 24) :

		services/commerces niveau :				loisir/trames vertes niveau :				global
		*	4	3	2	1	4	3	2	
Bobigny	3	<b>0.7204</b>	<b>0.9813</b>	<b>0.9995</b>	<b>0.8657</b>	<b>0.2517</b>	<b>0.2194</b>	<b>0.3827</b>	<b>0.7750</b>	<b>0.6516</b>
	2	0.7189	0.9813	1.0000	0.8657	0.2517	0.2194	0.3827	0.7750	0.6492
Romainville	3	<b>0.7723</b>	<b>0.9957</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9450</b>	<b>0.3377</b>	<b>0.2530</b>	<b>0.6831</b>	<b>0.8180</b>	<b>0.7256</b>
	2	0.7708	0.9958	1.0000	0.9450	0.3339	0.2157	0.7112	0.8180	0.7238
Bondy	3	<b>0.7112</b>	<b>0.9775</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9365</b>	<b>0.2390</b>	<b>0.2034</b>	<b>0.0706</b>	<b>0.8184</b>	<b>0.6196</b>
	2	0.7101	0.9774	1.0000	0.9366	0.2389	0.2034	0.0743	0.8184	0.6199

\*modèle, modèle 3 en gras

Tableau 24

Globalement les changements restent forcément modestes. Néanmoins on constate que l'accessibilité au niveau 4 s'améliore légèrement dans les trois cas ce qui s'explique par l'augmentation des logements desservis localement par les offres commerciales existants. Pour les espaces verts la situation est à nuancer. Elle s'améliore à Romainville pour le niveau 4 ce qui s'explique par l'augmentation des zones vertes de proximité. Plutôt surprenant, la diminution de la satisfaction pour Bobigny au niveau 2. Les satisfactions globales s'améliorent pour Bobigny et pour Romainville.

### 6.9.3. Conclusion

Il s'avère que les zones considérées souffrent en général d'un manque de commerces et des services de proximité, c'est-à-dire des services pour lesquelles on suppose une bonne accessibilité à pied. On constate un manque bien plus crucial en ce qui concerne les équipements de loisir/espaces verts de niveau 4 et 3. Pour le niveau 2 il existe une forte disparité entre les zones. Romainville dispose largement d'une meilleure satisfaction qui est presque 10 fois plus importante par rapport à Bondy. Bobigny se situe entre les deux.



## 7. Évaluation des mobilités : Mobisim-SOFT

---

La simulation des mobilités, effectuée à l'aide de mobisim-SOFT, version du logiciel de simulation multi-agents de la mobilité mobisim spécifiquement élaborée pour le projet SOFT, s'effectue avec une spatialisation fine des individus, localisés dans les carreaux de 200 m de côté utilisés par l'INSEE pour produire ses statistiques carroyées, à l'intérieur de la zone d'étude, et des choix de destination à la commune en dehors de la zone.

Mobsim-SOFT est un modèle à quatre étapes : génération, distribution, choix modal, et affectation. La génération et la distribution se font dans une logique de modèle de mobilité fondé sur les activités (ABM – *activity based model*), de manière à prendre en compte une diversité de motifs, tels qu'enquêtés dans les enquêtes ménages déplacements (ici l'EGT, enquête globale de transport, qui est l'enquête ménages déplacements d'Ile-de-France), et non pas uniquement la mobilité pendulaire domicile-travail.

L'objectif de ces simulations est double : il s'agit d'une part de vérifier si la reconcentration de la population, dans une logique de concentration déconcentrées, l'aide de l'approche **fractalopolis**, ne produit pas d'effet négatif sur le système de transport (scénario s2), et d'autre part d'évaluer la capacité du territoire à supporter une croissance de sa population, conformément aux prévisions établies (scénario s3), à partir de ce schéma de concentration déconcentrée. Enfin, l'effet du prolongement de la ligne 11 est évalué comme variante du scénario s3.

Rappelons que le diagnostic en matière de mobilité et d'accessibilité a montré que, sauf investissement pharaonique, le territoire était déjà correctement équipé, que les ménages étaient peu motorisés (par rapport à d'autres territoires de situation géographique comparable en Ile-de-France), et donc la part modale des déplacements motorisés était déjà relativement faible. C'est pourquoi nous avons fait le choix de ne pas envisager de solution radicale en matière de mobilité, mais d'évaluer l'impact des reconfigurations induite par notre approche d'analyse des formes urbaines en vue de faciliter l'accessibilité locale, les trames vertes et bleues, l'agriculture urbaine et la production locale d'énergie, qui sont le chemin principalement envisagé vers la sobriété énergétique.

### 7.1. Présentation de mobisim-SOFT

Dans cette partie, nous allons présenter les différentes données utilisées pour le paramétrage du logiciel et les principes de fonctionnement à la base des simulations.

#### 7.1.1. Données nécessaires au modèle

Quatre types de données sont requises en entrée :

- Les entités géographiques (communes, quartiers, carreaux, etc.)
- La population (différents types d'individus)
- Les aménités (commerces, services, emplois)
- Les réseaux (routiers, transports en commun, marche, etc.)

Avant de générer la population, la localisation des domiciles des individus qui la compose est définie au préalable.

Le découpage du territoire se fonde sur des entités géographiques de nature vectorielle et surfacique, qui sont regroupées dans une couche spécifique. Selon le degré de précision souhaité pour établir les zones d'habitat, toutes les échelles spatiales sont envisageables, telles que :

- Le bâti
- La commune
- Le quartier IRIS

Il est également possible de s'extraire des limites géographiques habituelles, en utilisant les données carroyées de l'INSEE : le carreau 200 mètres ou le carreau 1 kilomètre. Cette partition du territoire permet d'utiliser à un niveau faiblement agrégé,

des attributs économiques et socio-démographiques générés par l'INSEE. Ce sont ces données carroyées de 200m qui ont été choisies pour répartir la population du territoire d'Est Ensemble.

Dans le cadre de cette étude, le territoire qui a été considéré comme accessible à la population pour les mobilités quotidiennes est le territoire d'Est Ensemble et son voisinage immédiat jusqu'à une distance de 20 km, soit une grande partie de l'agglomération parisienne.

La répartition de la population se fonde sur un ensemble de données socio-démographiques. Ces données sont notamment disponibles dans le Recensement général de population (RGP) effectué par l'INSEE et agrégées à l'échelle infra-communale dans des IRIS. A partir des informations qu'elles nous fournissent, l'objectif est d'identifier une typologie d'agents basée sur la diversité des profils des individus. Cette typologie nous permet ensuite de paramétrer les contraintes et les choix de mobilité différenciés au sein de la population (Antoni et al., 2016).

Les différences entre types d'agents sont basées sur des variables retenues comme impactant les déplacements quotidiens. Trois tables thématiques issues du RGP nous ont particulièrement intéressées pour identifier ces variables :

- Population (nombre d'habitants par sexe, âge, etc.) ;
- Formation (population scolarisée par âge, niveau de diplôme par sexe et par âge, etc.) ;
- Activité (population active, type d'activité par sexe, âge et catégorie sociale, mode de transport utilisé pour les migrations domicile-travail, etc.).

Pour l'étude des déplacements sur le territoire d'Est Ensemble, la population a été classée selon la catégorie socio-professionnelle et l'âge des individus (Tableau 25). En effet, il est couramment admis dans la littérature scientifique et dans les résultats des Enquêtes Ménages Déplacements que la mobilité varie fortement selon la tranche d'âge et l'occupation principale des personnes. Tous les individus de plus de 5 ans, soit 375 943 personnes, ont pu être répartis dans 11 classes d'agents avant d'être affectés à l'échelle des IRIS puis réaggrégés dans les carreaux de 200m.

Agent	Description	Part de la population
ARTISAN	Artisans, commerçants, chefs d'entreprise actifs occupés de 15 ans ou plus	2,3%
CADRE	Cadres et professions intellectuelles supérieures actifs occupés de 15 à 64 ans	9,3%
CHOMEUR	Chômeurs de 15 à 64 ans	10,5%
ECOLIER	Elèves de 5 à 15 ans	13,3%
EMPLOYE	Employés actifs occupés de 15 ans à 64 ans	13,6%
ETUDIANT	Elèves, étudiants et stagiaires non rémunérés de 15 à 64 ans	7,6%
INACTIF	Autres inactifs de 15 à 64 ans	8,1%
OUVRIER	Ouvriers actifs occupés de 15 ans à 64 ans	8,2%
PROFINT	Professions intermédiaires actifs occupés de 15 à 64 ans	11,1%
RETRAITE1	Retraités ou préretraités de 15 à 64 ans	2,7%
RETRAITE2	Personnes de 65 ans ou plus	13,3%

Tableau 25 : Typologie des agents pour Mobisim-SOFT

Les types d'agents constituent les attributs de la couche carroyée et décrivent donc quantitativement les différentes mailles du territoire.

Les activités auxquelles peuvent accéder les agents sont représentées par une sélection de commerces et services nécessitant un déplacement de la part des usagers (coiffeurs, supermarchés, services administratifs, médecins, etc.). Les données, issues du répertoire national des entreprises et des établissements SIRENE, sont localisées et regroupées sous format vectoriel et ponctuel dans une couche spécifique. Au total, une centaine d'aménités ont été sélectionnées pour représenter l'ensemble des activités répertoriées en nous basant sur différentes nomenclatures officielles telles que celles de la FNAU, de l'Institut Paris Région, de l'INSEE et la Base Permanente des Equipements.

La nature de l'activité et son niveau de recours dans le temps (quotidien, hebdomadaire, mensuel, rare, etc.) détermine sa masse. La masse  $m$  de chaque activité est le niveau d'attractivité exercé, et indique ainsi le potentiel à constituer la destination d'un individu.

La masse attribuée à une activité est une valeur positive à paramétrer et à renseigner dans la table attributaire de la couche des aménités correspondante. Une couche par type d'activité peut être implémentée.

La prise en compte des réseaux de transport nécessite de distinguer deux types de fichiers : les voies empruntées par les modes de transports personnels (Véhicule particulier, marche à pied et vélo) de celles empruntées par les transports en commun. Pour la première catégorie, il s'agit d'une couche vectorielle linéaire qui localise chaque tronçon. À partir de cette base, deux informations (champs) fournies par la BD Topo doivent être créées pour chaque mode et sur chaque tronçon : le sens de circulation (un sens, double sens, ou aucun sens si le tronçon n'est pas ouvert à la circulation pour le mode considéré) et la vitesse de circulation de chaque mode associée à un temps de parcours en minutes. En ce qui concerne le mode « automobile », la vitesse appliquée sur les tronçons est renseignée en tenant compte des valeurs indicatives proposées par la BD Topo (2020). Pour la marche, il s'agit d'une vitesse constante de 4 km/h.

Pour les transports en commun, il s'agit d'un fichier (format GTFS) regroupant les points d'arrêts (stations) du réseau de transport en commun, et renseignant sur les capacités des véhicules et les heures de passage à la station.

Les modes de transport marche à pied/véhicule particulier sont également calibrés par :

- le temps d'attente (exemple : temps pour se garer, aller chercher son véhicule)
- la vitesse pour se raccrocher au réseau en mètres par seconde. (par défaut : 1 m.s-1)
- le coefficient de temps qui permet de convertir l'unité de temps de parcours d'un tronçon en secondes.

Le mode de transport en commun est calibré par :

- le temps d'attente à un arrêt
- la vitesse du réseau
- la distance maximale de raccordement automatique entre deux stations
- le temps minimum de correspondance (rupture de charge) en minute
- la distance maximale entre le point de départ et le point d'arrivée

### 7.1.2. Paramétrage du modèle

L'objectif est de modéliser les déplacements potentiels des individus dans une journée. Il ne s'agit pas de représenter les déplacements réels mais l'ensemble des opportunités de destination par motifs et types d'activités présentés dans la zone d'étude.

Deux processus interconnectés déterminent la mobilité quotidienne des individus : la génération des plannings d'activités et leur distribution dans l'espace (Ben-Akiva et Bowman, 1998). La détermination du mode de transport utilisé et l'itinéraire emprunté sont également deux étapes connexes permettant de représenter le trafic pour chaque mode de déplacement (Antoni et al., 2016).

#### 7.1.2.1. Elaboration des plannings d'activités

La modélisation des déplacements sur le territoire tient compte des types d'activités réalisées par les agents. Nos connaissances sur le nombre et le poids des activités quotidiennes pour chaque type d'individus sont issues de l'EGT 2010. L'Enquête Globale Transport (EGT) a été réalisée entre 2009 et 2011. Comme toutes les enquêtes de ce type, l'EGT de l'Île-de-France a été réalisée à partir d'un échantillon « représentatif » des ménages. La taille de cet échantillon, bien que réduite, garantit une certaine fiabilité statistique à l'enquête. Ce dernier peut être extrapolé par l'intermédiaire d'un coefficient de redressement pour représenter l'ensemble de la population de l'agglomération (Antoni et al., 2016). Pour le secteur d'Est Ensemble, 738 personnes de 5 ans et plus ont été enquêtés, pour 2629 déplacements renseignés. À partir de cet échantillon, nous avons pu calculer le nombre moyen de déplacements par jour et par type d'agent, la portée et la durée moyenne des déplacements selon le motif et le mode de transport utilisé. Ces valeurs sont nécessaires pour paramétrer les plannings d'activité et le choix modal.

La classification pour Mobisim-soft compte 6 motifs pour 16 activités (tableau 26) :

Motifs de déplacement	Types d'activité
Motif professionnel	Travail
Etudes	Ecole maternelle et primaire
	Collège et lycée
	Enseignement supérieur
Loisirs	Activité sportive ou culturelle
	Spectacle, exposition, cinéma, musée
	Restauration hors domicile
Achats	Achats quotidiens
	Achats hebdo ou bi-hebdomadaires
	Achats occasionnels
Affaires personnelles	Démarches administratives
	Santé (hôpital, clinique)
	Santé autres (médecin, dentiste, etc.)
	Recherche d'emploi
	Affaires personnelles autres
Accompagnement	Accompagner quelqu'un

Tableau 26 : Motifs des déplacements et types d'activités

A chaque type d'activité est associé un groupe d'aménités en tenant compte des définitions de l'EGT (Voir en annexe 4 le tableau complet des aménités sélectionnées pour chaque motif). Par exemple, le motif de déplacement « Démarche administrative » est associé aux types d'aménités « administration publique générale » et « Distribution sociale de revenus » localisées sur le territoire.

Pour le motif « Travail », il s'agissait d'évaluer le nombre d'emplois potentiels pour chaque cellule du carroyage de 200m. C'est une information indispensable au modèle gravitaire utilisé pour distribuer les mobilités individuelles liées au travail. Nous avons donc pris en compte la variable EFFECENT de la base SIRENE décrivant des effectifs de salariés de chaque aménité à la centaine près. Il s'agit de la nomenclature d'emploi la plus fine possible. L'information géocodée à l'adresse a ensuite été agrégée dans les carreaux pour pouvoir déterminer la masse d'attractivité de chaque cellule.

L'échelle de temps retenue pour la simulation des déplacements des individus s'étend sur 24h mais peut être modulée sur toute autre période (exemple : à l'échelle de la semaine). Les chaînes d'activités ne sont pas prises en compte.

La probabilité d'un type de population à fréquenter les locaux d'une activité est calculée selon le modèle de Huff (ou modèle gravitaire). Plusieurs paramètres ont été pris en compte pour évaluer l'attractivité des aménités selon les agents, comme le montre cet extrait du fichier de programmation du modèle (Figure 121).

```

548     </distribTypes>
549 </Activity>
550 <Activity>
551   <name>AchatsQuot</name>
552   <fileDest>Point_Motifs/AchQ.shp</fileDest>
553   <distribTypes>
554     <entry>
555       <string>RETRAITE2</string>
556       <Distrib>
557         <massAttr>ranking</massAttr>
558         <freq>0.228861533827836</freq>
559         <avgDist>560.0</avgDist>
560         <maxDist>0.0</maxDist>
561         <alpha>0.003547740491245475</alpha>
562       </Distrib>
563     </entry>

```

Figure 121 : Données de paramétrage de l'attractivité des aménités « Achats Quotidiens » pour les agents RETRAITE2

Pour chaque type d'agent, les opportunités de destination sont quantifiées dans un périmètre moyen du point d'origine via le paramètre *avgDist* (Exemple : 1000 mètres pour le type d'agent 1, 2000 mètres pour le type d'agent 2, etc.).

La probabilité de choisir une destination parmi celles offertes dans le périmètre, est le résultat de l'optimisation du rapport entre la masse de l'activité *massAttr* et la distance au point d'origine *avgDist*.

La fréquence *freq* correspond au nombre de déplacement moyen par activité et par type d'individu pour une unité de temps.

Le paramètre *alpha*, estimé automatiquement à partir de la distance à parcourir origine-destination *AvgDist*, définit la friction exercée par la distance. Il permet d'ajuster la propension de la population à se déplacer pour rejoindre une activité.

Un seuil de distance maximale *maxDist* entre les points de départ et d'arrivée peut être paramétré (défini à 0 par défaut) pour chaque type de population.

Ainsi, les opportunités de destination ont pu être quantifiées pour chaque type d'agent et chaque type d'aménité.

### 7.1.2.2. Détermination du choix modal

Cette étape consiste à déterminer le mode de transport emprunté par chaque agent pour leurs déplacements. Les modes introduits dans Mobisim-Soft sont la marche (MAP), la voiture (VP) et les transports en commun (TC).

Le choix modal s'effectue en fonction d'hypothèses qui peuvent varier pour chaque type d'agents. Mobisim-SOFT implémente plusieurs modèles de choix modal : une version simple pouvant être paramétrée manuellement et une version basée sur des fonctions logit. Le paramétrage des variables suivantes est donc modulable selon les scénarios simulés.

Le choix modal simple tient compte :

- D'une distance minimale en mètre en dessous de laquelle le mode est forcé à pied (par exemple 300m)
- D'une distance maximale en mètre au-dessus de laquelle le mode n'est plus la marche à pied (2000m)
- De la probabilité de choisir le transport en commun plutôt que le véhicule particulier quand le temps en transport en commun est égal à celui du véhicule particulier
- D'un différentiel de temps maximum entre véhicule particulier et transport en commun (20 min)

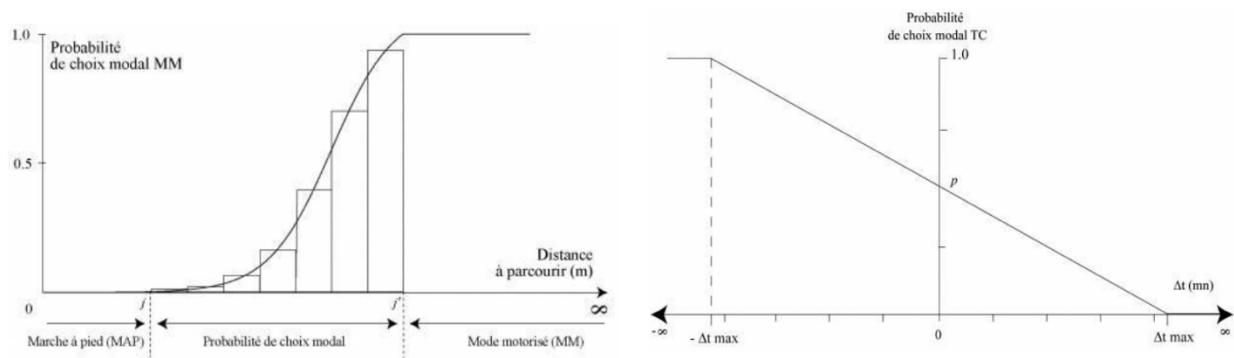


Figure 122 : Influence de la distance à parcourir sur le choix modal

L'influence de la distance à parcourir sur la probabilité de choix modal est illustré par la figure 122.

La seconde version de choix modal doit être paramétré par les coefficients d'une régression logit multinomial réalisée à partir d'une enquête ménage déplacement par exemple.

A l'issue de ce paramétrage du logiciel et des données que nous y avons incluses, nous avons pu simuler les déplacements des résidents du territoire d'Est Ensemble selon les différents scénarios de répartition de la population développés dans **fractalopolis**.

Pour chaque simulation, nous pouvons extraire un fichier carryé renseignant les distances et durées de déplacement selon le type d'agent, le motif et le mode de transport. Cela nous permet donc d'effectuer des analyses fines de l'évolution des mobilités quotidiennes et évaluer l'impact des changements opérés sur la répartition de la population et sur l'offre de transport.

## 7.2. Rappel de la répartition des populations selon les trois scénarios définis par le projet

La mobilité analysée dans ce chapitre est la mobilité des personnes ; elle est donc fortement dépendante de la répartition des populations, que nous représentons ici sur le carryage à 200 m de l'INSEE.

Pour des raisons de lisibilité des cartes, il est impossible d'utiliser une transparence trop importante dans les cartes pour faire apparaître le bâti ; nous représentons donc ici en figure 123 le cadre bâti d'Est-Ensemble, avec en superposition le zonage d'étude **fractalopolis** que nous avons mis au point.

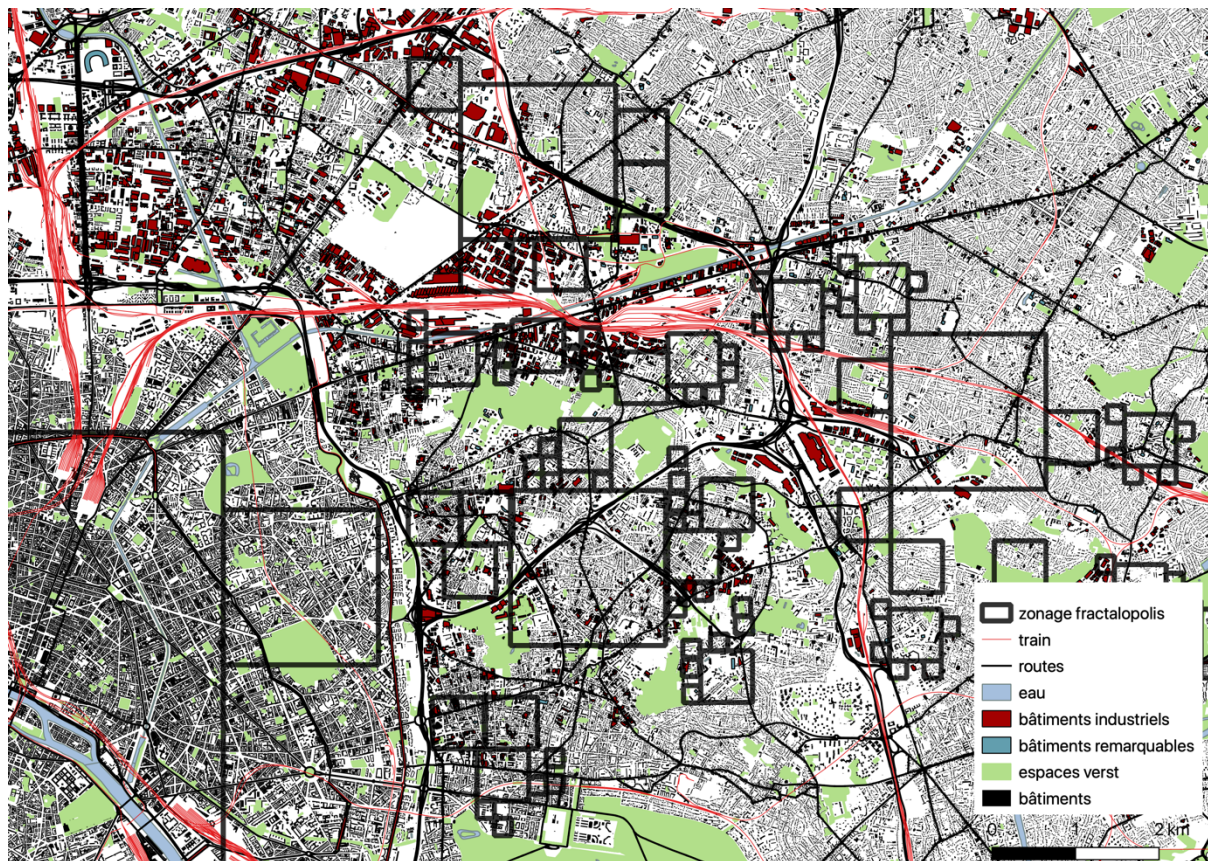


Figure 123 : Zonage d'étude *fractalopolis*

Nous supposons, conformément aux analyses effectuées sur la mobilité résidentielle, que la structure de la population (âge, CSP, niveau d'étude, taille des ménages, etc.) est invariante à court et moyen terme. Cette hypothèse est déterminante, car le modèle de choix modal de mobisim est calé en fonction de ces critères : les choix de mode seront donc invariants dans l'espace pour les scénarios s0, s2, et s3, et ne seront modifiés que lors de l'ajout des stations supplémentaires de la ligne 11 du métro.

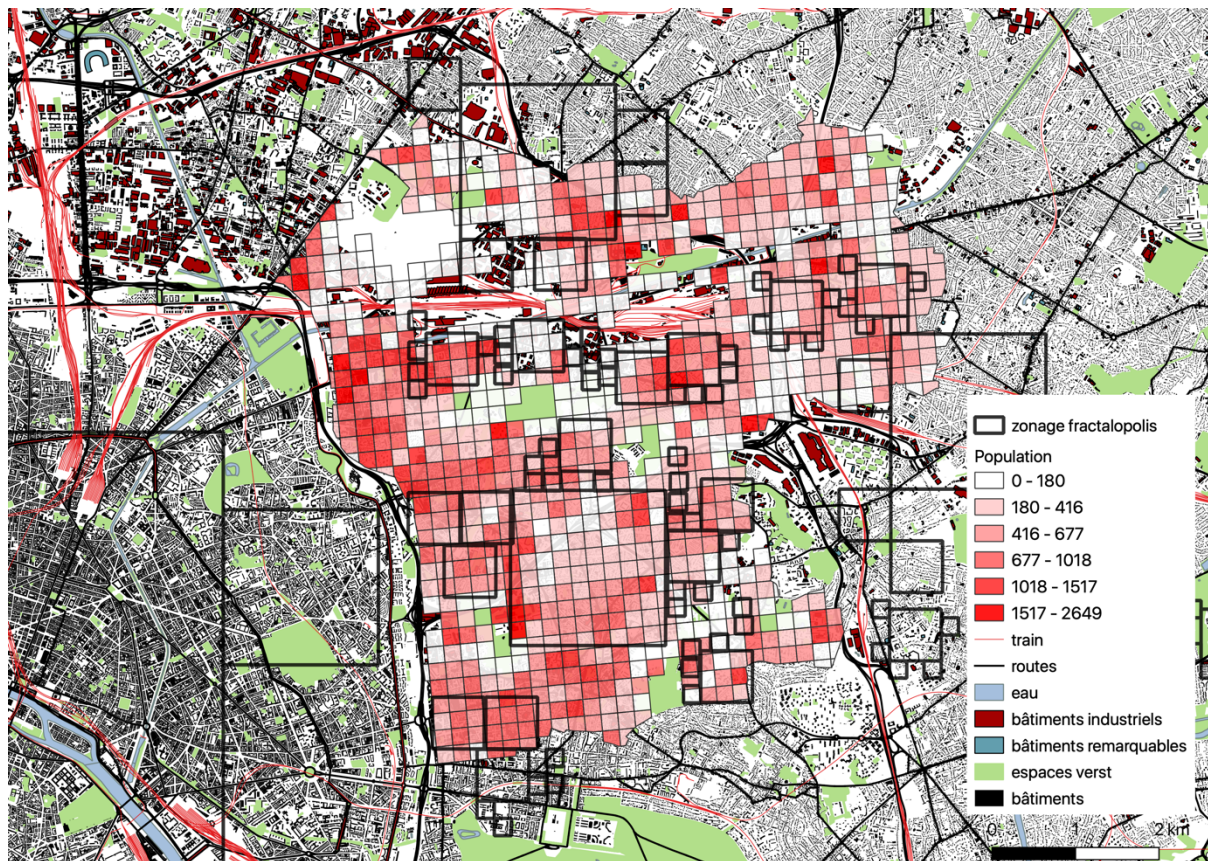


Figure 124 : Répartition de la population actuelle d'Est-Ensemble (scénario s0), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE

La figure 124 révèle les concentrations actuelles de population, avec la commune des Lilas, particulièrement dense, que nous avons supposée suffisamment dense et avons écartée de notre zonage d'étude (zonage **fractalopolis**, en noir sur la carte), ainsi que certains quartiers de Noisy-le-sec. Les potentiels de centralité à Romainville (notamment place Carnot, qui sera desservie par la ligne 11), ainsi qu'au nord de Montreuil, révèlent des niveaux de densité de population relativement plus faible.



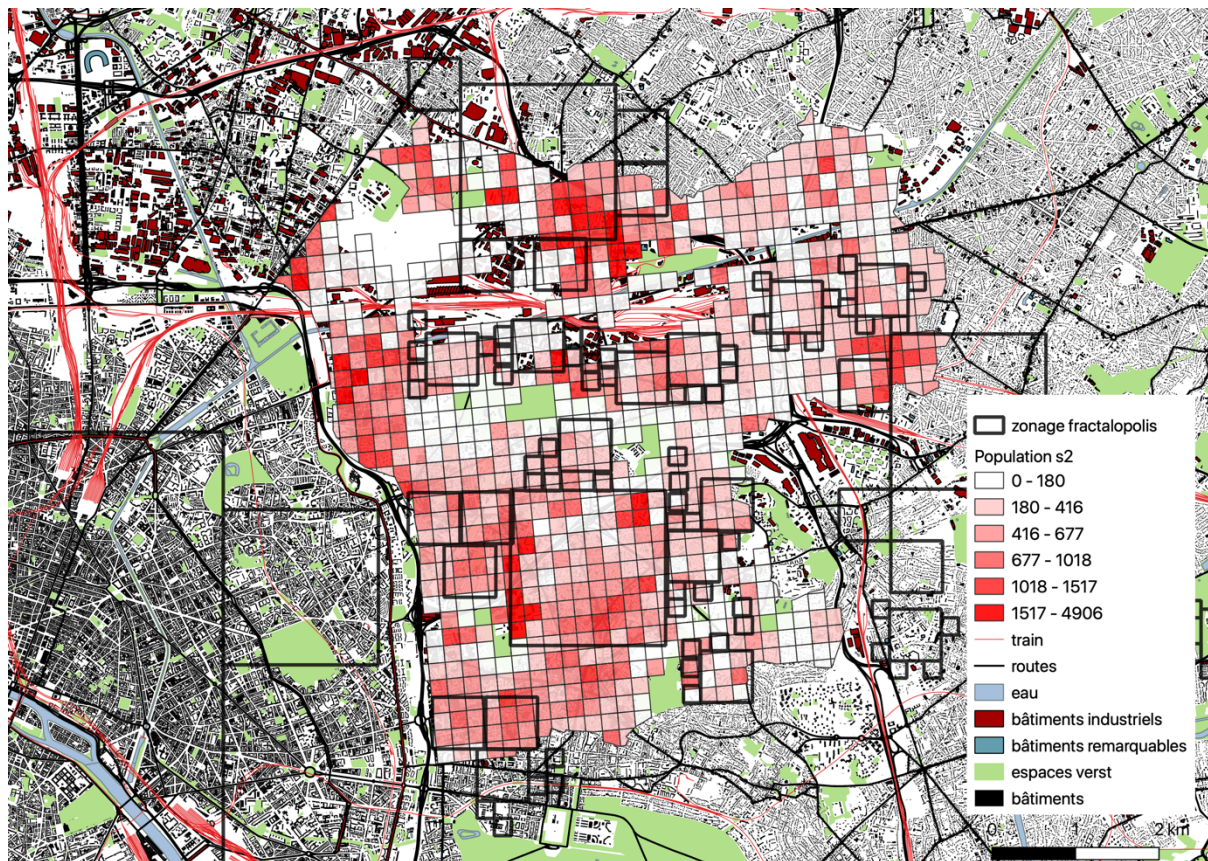


Figure 125 : Répartition de la reconfiguration préconisée de la population d'Est-Ensemble selon une logique de concentration déconcentrée (scénario s2), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE

La figure 125 représente, avec les mêmes classes de population que la figure 124, la répartition de population préconisée par l'application du modèle **fractalopolis**. Les changements, non drastiques, de manière à être relativement réalistes, conduisent à reconcentrer, notamment au nord de la zone, et à diminuer légèrement la densité sur les zones déjà saturées, tout en renforçant les trames vertes et bleues existantes.

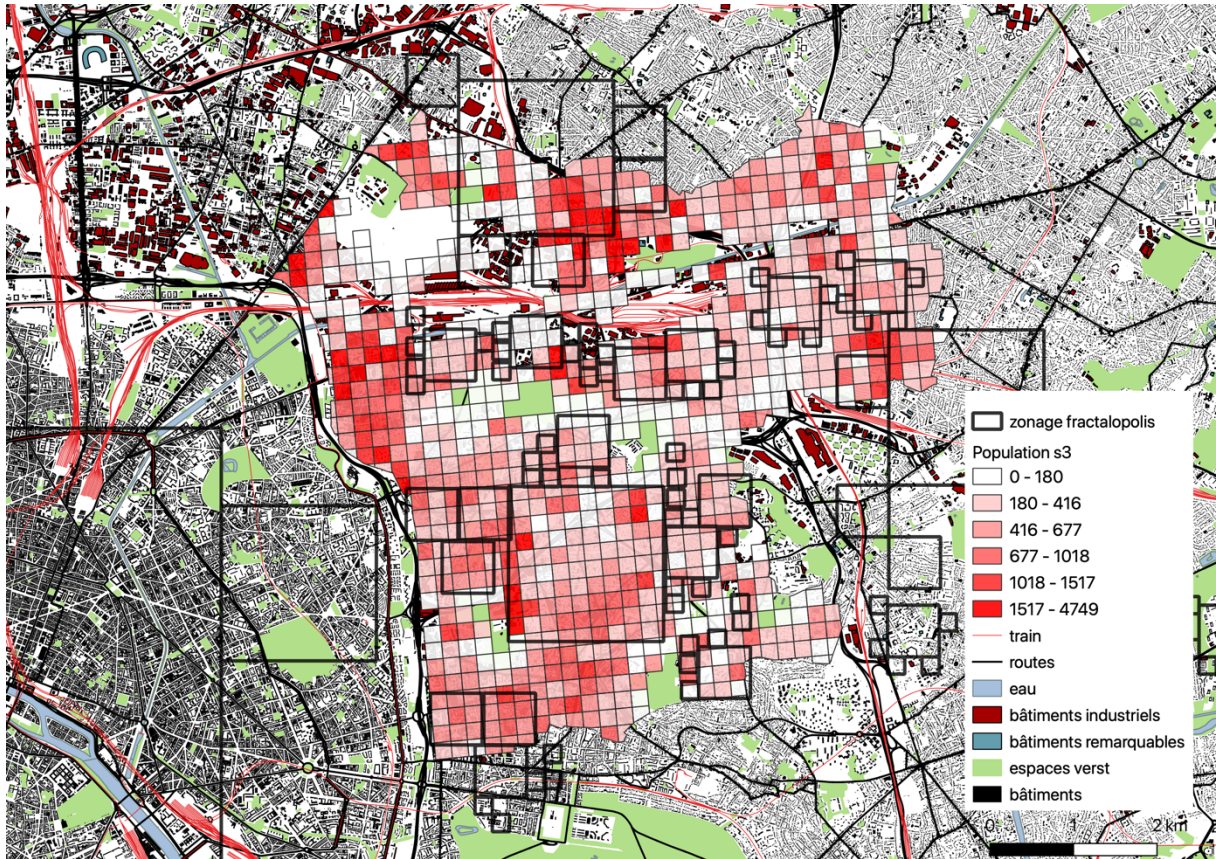


Figure 126 : Répartition de la population d'Est-Ensemble avec une logique de concentration déconcentrée et de croissance démographiques (scénario s3), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE

Enfin, la figure 126, qui représente la population considérée pour le scénario s3, toujours avec les mêmes classes, révèle une croissance relativement bien répartie spatialement, dans laquelle par exemple Les Lilas retrouve son niveau de densité initial.

### 7.3. Analyse des parts modales

Les parts modales sont les indicateurs les plus classiques utilisées pour l'analyse de la mobilité, mais aussi les plus sensibles aux définitions. Il s'agit de la proportion d'individus utilisant un mode donné pour leur mobilité, soit calculée sur la base du nombre de déplacements, soit sur la base des kilomètres parcourus. Ces deux visions sont complémentaires : elles renvoient à une question d'accès à la mobilité et d'intensité d'usage des modes pour les parts modales en nombre de déplacements, et aux consommations d'énergie pour les parts modales en kilomètres parcourus.

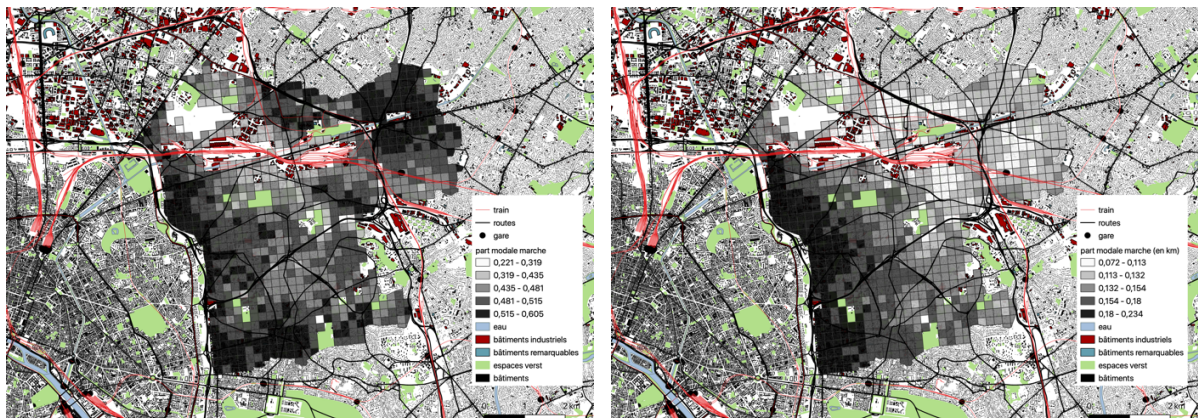


Figure 127 : Parts modales de la marche à pied, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite)

Les parts modales de la marche à pied (figure 127) sont très importantes, de 20 à 60% des déplacements (pour une moyenne d'un peu plus de 40%), ce qui révèle une situation déjà très favorable du point de vue des mobilités. Si ces parts modales sont calculées pour tous les déplacements, elles n'en révèlent pas moins des structures liées au domicile-travail d'une part, et à la répartition des commerces d'autre part. Les centres d'emploi importants, notamment au nord-est et au sud-ouest sont très apparents : il s'agit de ménages localisés à proximité de leur lieu de travail. Ces parts modales, logiquement, chutent quand on les rapporte aux kilomètres parcourus, mais atteignent tout de même 20% à certains endroits. La proximité à Paris est très manifeste : il s'agit d'individus qui marchent pour rejoindre un emploi dans l'est parisien, voire un peu plus loin. Le déficit d'emplois de base au cœur d'Est-Ensemble est aussi mis en évidence par ces deux cartes, ainsi que l'importance de Paris pour un certain nombre de motifs de déplacement.

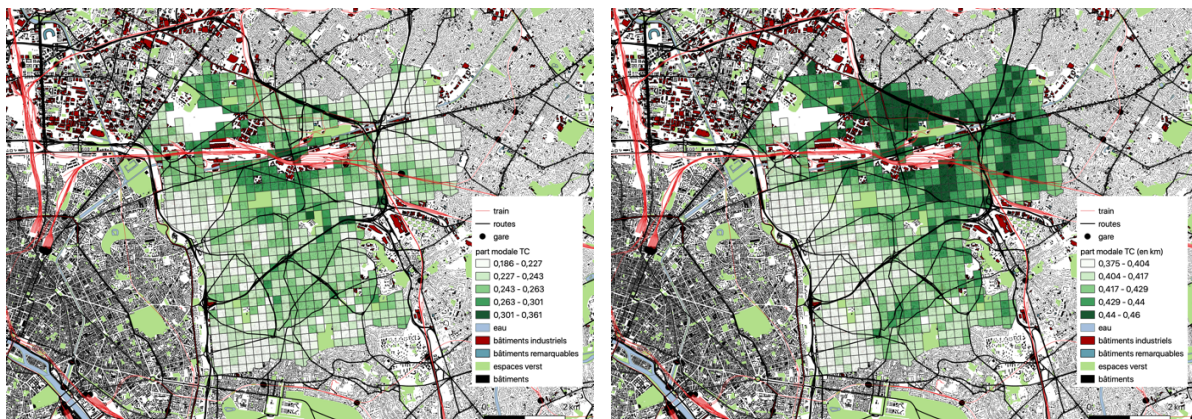


Figure 128 : Parts modales des transports en commun, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite)

Les parts modales des transports en commun (figure 128) reflètent l'inégale répartition des stations de transport en commun ferré sur le territoire. Il s'agit d'un mode structurant plutôt lié au domicile-travail, ce que confirme la relative similarité entre les parts modales en nombre de déplacements et en kilomètres. C'est le RER E au nord-est qui capte visiblement la plus grande partie des déplacements, ainsi que la ligne 9 du métro au sud. Ces parts modales sont relativement concentrées, autour de 24% pour les parts modales en nombre de déplacements, et encore plus concentrées pour les parts modales en kilomètres, qui varient entre 35% et 45% environ. Rappelons que le recensement de la population montre une part modale des transports en commun d'environ 55% pour les trajets domicile-travail, ce qui est tout à fait compatible avec le modèle mobisim calé sur l'EGT.

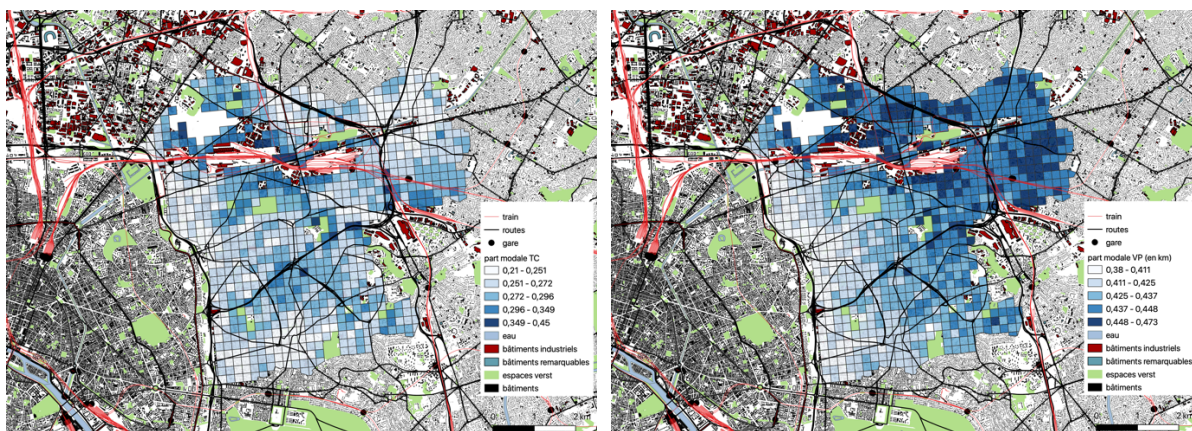


Figure 129 : Parts modales des véhicules particuliers, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite)

Les parts modales des véhicules particuliers (Figure 129) sont relativement faibles pour un territoire de petite couronne, entre 20% et 40% des déplacements, avec une moyenne autour de 28% (26% dans le recensement pour le domicile-travail). Étant

donné le faible taux de motorisation des ménages d'Est-Ensemble, les véhicules particuliers sont principalement utilisés pour la mobilité domicile-travail, dans une proportion comparable à celle des transports en commun (tous motifs confondus).

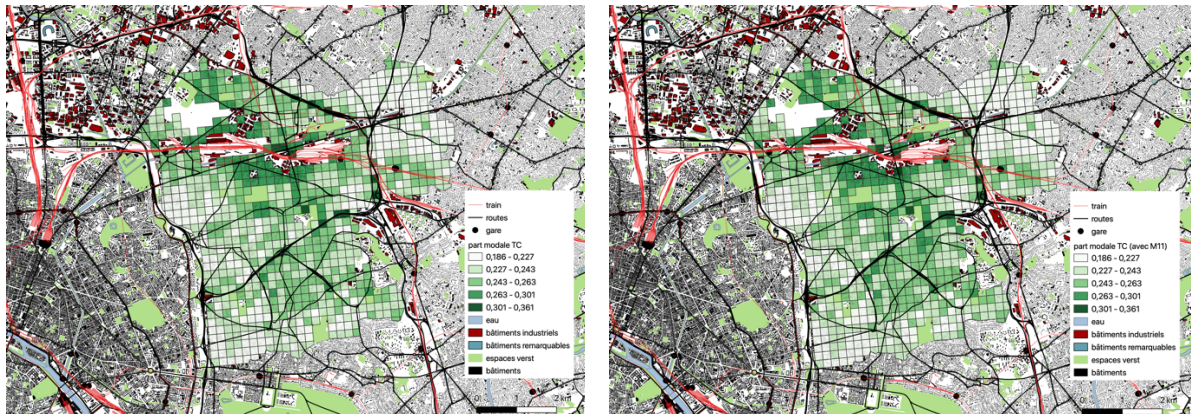


Figure 130 : Parts modales des transports en commun, sans le prolongement de la ligne 11 (gauche) et avec les nouvelles stations de la ligne 11 (droite)

Le prolongement de la ligne 11 ne produit pas d'effet majeur visible sur les parts modales, tout du moins avec la discrétisation adoptée (figure 130) : il faut scruter les cartes pour repérer des changements quantitatifs notables. La cartographie des écarts entre part modale avec la ligne 11 et sans la ligne 11 (en nombre de déplacements) (figure 131) laisse toutefois apparaître une structure spatiale significative. Ce résultat peut laisser penser que le calage de mobsim-SOFT pour la part modale transports en commun est un faible, même si la part modale globale obtenue est cohérente avec l'EGT.

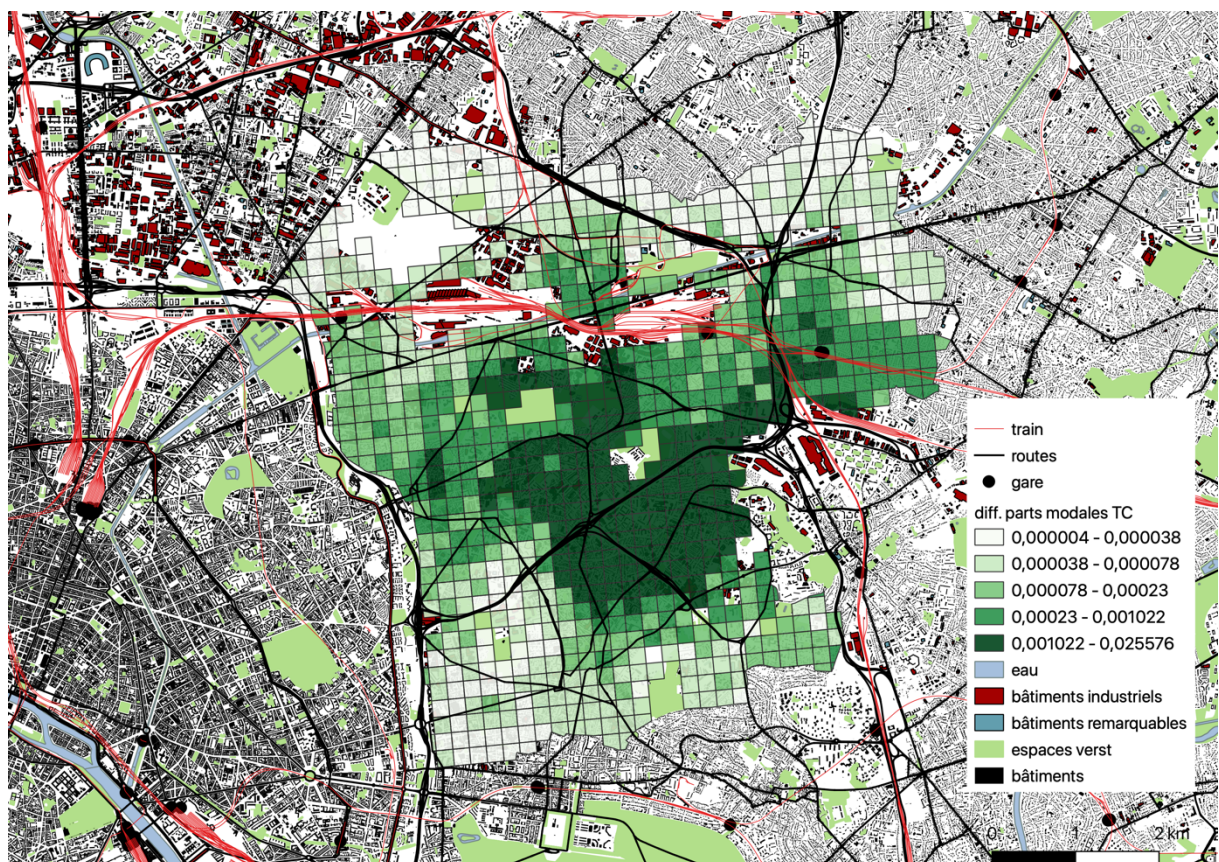


Figure 131 : Différence des parts modales transports en commun calculées avec le prolongement de la ligne 11 et sans

## 7.4. Distances totales parcourues

Les distances totales parcourues (tableau 27) montrent, conformément aux résultats de l'EGT, des distances comparables entre celles parcourues en transports en commun et en véhicule particulier, et quatre fois plus importantes (environ) que les distances parcourues à pied.

	Part modale	Distance moyenne (m)	Durée moyenne (minutes)
MAP	50,30%	1377	31
TC	23,70%	3909	45
VP	26,10%	3700	22

Tableau 27 : distances moyennes et durées moyennes par mode

Ces résultats moyennés cachent naturellement de grandes disparités, mais on peut constater que si certains individus parcourent naturellement de grandes distances pour se rendre sur leur lieu d'emploi, ces distances sont compensées par les mobilités locales. Enfin, les durées moyennes plus importantes pour les transports en commun soulignent le fait que les déplacements sont relativement courts, puisque les transports en commun gagnent en performance sur les véhicules particuliers pour les longs trajets.

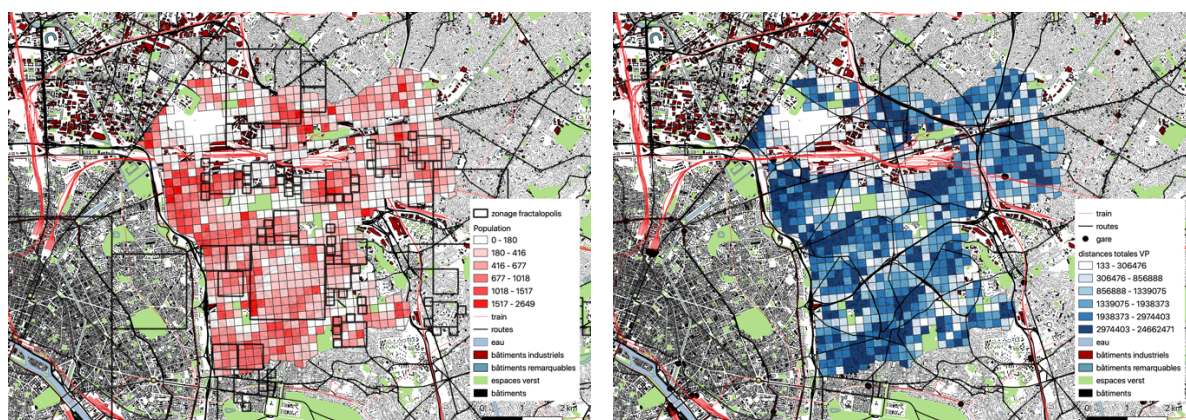


Figure 132 : Distances parcourues en véhicules particuliers, ramenées au lieu de résidence, scénario s0 (situation initiale), droite, et répartition de la population (gauche)

Les distances parcourues (figure 132, droite) résultent d'une combinaison de la répartition de la population (carte de gauche) et des parts modales. Le choix modal étant lié à la structure de la population, les deux cartes ne sont toutefois pas exactement homothétiques. On observe l'effet richesse (donc équipement automobile) est important.

La reconfiguration proposée de la population (scénario 2) a pour effet de modifier sensiblement la répartition spatiale des distances parcourues (figure 133).

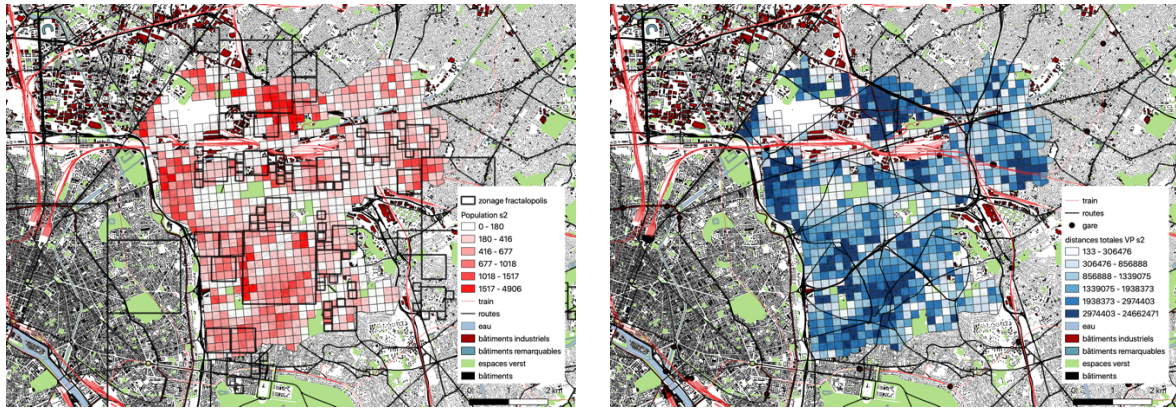


Figure 133 : Distances parcourues en véhicules particuliers, ramenées au lieu de résidence, scénario s2 (situation de concentration déconcentrée), droite, et répartition de la population (gauche)

À l'exception du nord de la zone, les kilomètres parcourus sont répartis de manière plus uniforme sur la zone, ce qui laisse penser que la répartition spatiale des déplacements sera plus homogène, et donc que les temps de transport seront sensiblement diminués. L'examen des durées moyennes de transport conforte cette intuition (tableau 28).

		Part	Distance totale (en m)	Durée totale (en min)
s0	MAP	50,30%	581325661	13724105
	TC	23,70%	1660273262	15830590
	VP	26,10%	1693515318	8266244
s2	MAP	49,80%	529809693	12623749
	TC	23,90%	1561747395	14862745
	VP	26,30%	1593989659	7779567

Tableau 28 : distances totales et durées totales par mode pour les scénarios s0 et s2

Le scénario s2, qui constitue une simple reconfiguration, à population constante, présente des distances totales parcourues en VP très similaires, mais pour une durée totale sensiblement plus réduite.

## 8. Prospective : reconfiguration des réseaux électriques en vue de l'autoconsommation collective

---

Nous terminons les propositions de ce rapport par un chapitre plus prospectif sur la question de la reconfiguration des réseaux électriques. En effet, les réseaux électriques obéissent à une logique de configuration descendante, avec des postes de transformation en cascade, de manière à pouvoir transporter la puissance sans trop de pertes sur des longues distances, donc en haute tension, mais à desservir tous les bâtiments en basse tension (240 Volts).

En France, on distingue entre réseaux haute tension B, de tension supérieure à 50 000 Volts, haute tension A, de tension entre 1 000 et 50 000 Volts, et enfin basse tension. Les réseaux électriques peuvent être maillés, radiaux, ou encore arborescent, ce qui correspond à trois fonctions différentes :

- distribution, de 50 000 Volts à 400 000 Volts, sous forme maillée, de manière assurer la sécurité de la distribution et les reports de charge ;
- répartition, de 30 000 Volts à 150 000 Volts, sous forme radiale, et maillée, de manière à assurer la distribution l'échelle régionale ;
- distribution, en moyenne tension et basse tension, qui, partant d'un poste source, distribue l'électricité, par le biais de transformation successives, jusqu'au consommateur. Ces réseaux de distribution sont principalement arborescents.

Les réseaux de distribution en ville suivent généralement le tracé des voies, car ils sont souvent enterrés sous les trottoirs. Du fait des besoins croissants, ils deviennent peu à peu obsolètes, et font l'objet de travaux de maintenance importants, y compris au niveau des poste source (passage du 225 000 Volts à 20 000 Volt) en région parisienne. Le tracé des réseaux de distribution est le résultat de l'histoire de ce réseau et de ces modifications successives, au fur et à mesure des défaillances.

Nous nous sommes posés dans le projet SOFT la question d'une reconfiguration du réseau électrique qui respecterait le principe d'arborescence, calquée sur le modèle de hiérarchie urbaine que nous avons mis au point avec le modèle **fractalopolis**, réseau qui présente moins de liaison, mais la même qualité de couverture, et, du fait de son caractère multi-échelle, la possibilité de s'adapter à des pratiques telles que l'autoconsommation collective. Cette approche a été initialement développée dans le projet ANR FractalGrid.

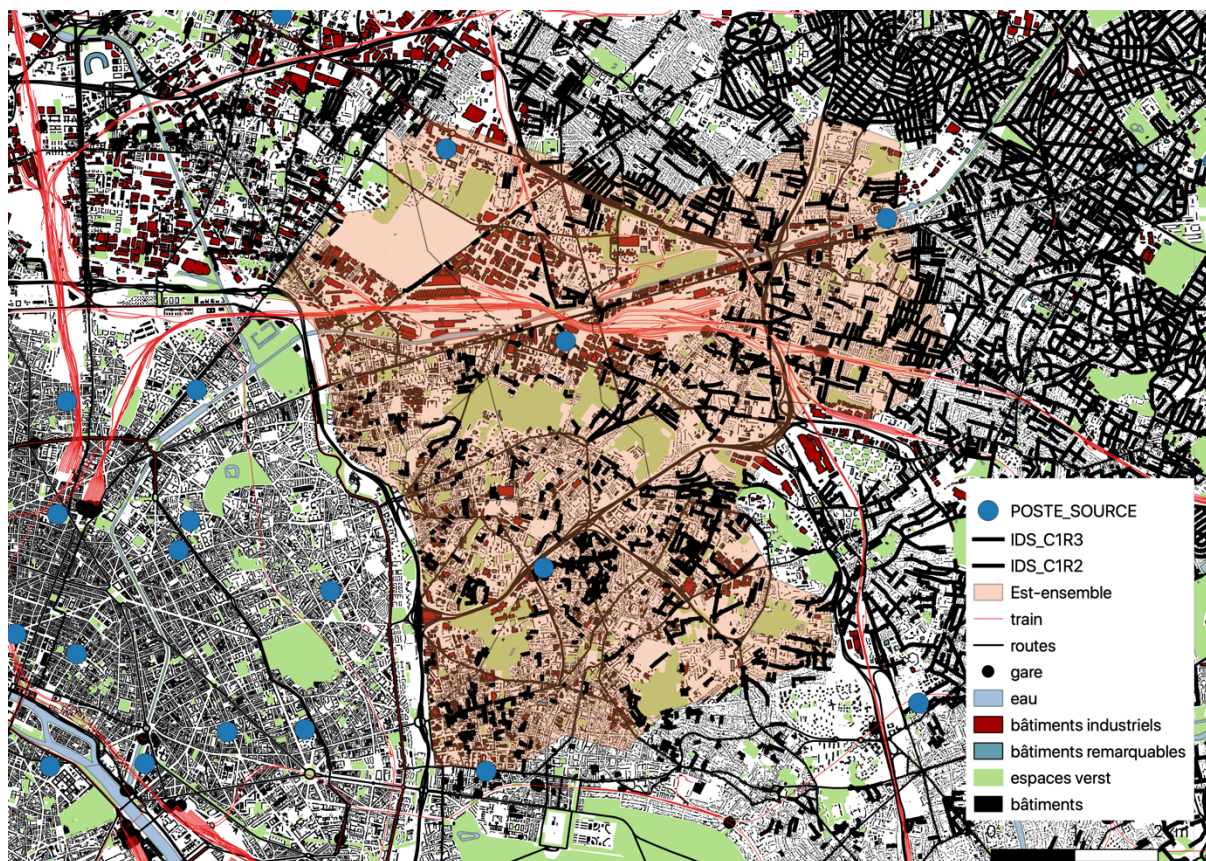


Figure 134 : Données de distribution d'énergie disponible sur la zone (source : data.gouv.fr)

Les données disponibles sur data.gouv.fr du réseau de distribution sont lacunaires en dehors de la grande couronne, comme le montre la figure 134, probablement du fait de la non-transmission des données des syndicats locaux d'énergie à enedis, qui a ensuite rediffusé ces données. Est-Ensemble est couvert par 5 postes source, en bleu sur la carte, et l'examen du réseau de distribution final montre qu'il suit effectivement le tracé des rues. Nous n'avons pas pu récolter de données sur la distribution entre les postes sources et la distribution finale en triphasé jusqu'aux consommateurs.

Une des raisons fortes qui nous a poussé à entreprendre ce travail est que d'une part le potentiel d'électricité photovoltaïque est relativement important sur la zone, d'après un travail effectué par l'APUR et présenté dans le chapitre I ce rapport, et d'autre part il existe sur le territoire des initiatives citoyennes visant à développer ce type de production. Cependant, ce type de production prend tout son sens dans le cadre d'autoconsommation collective.



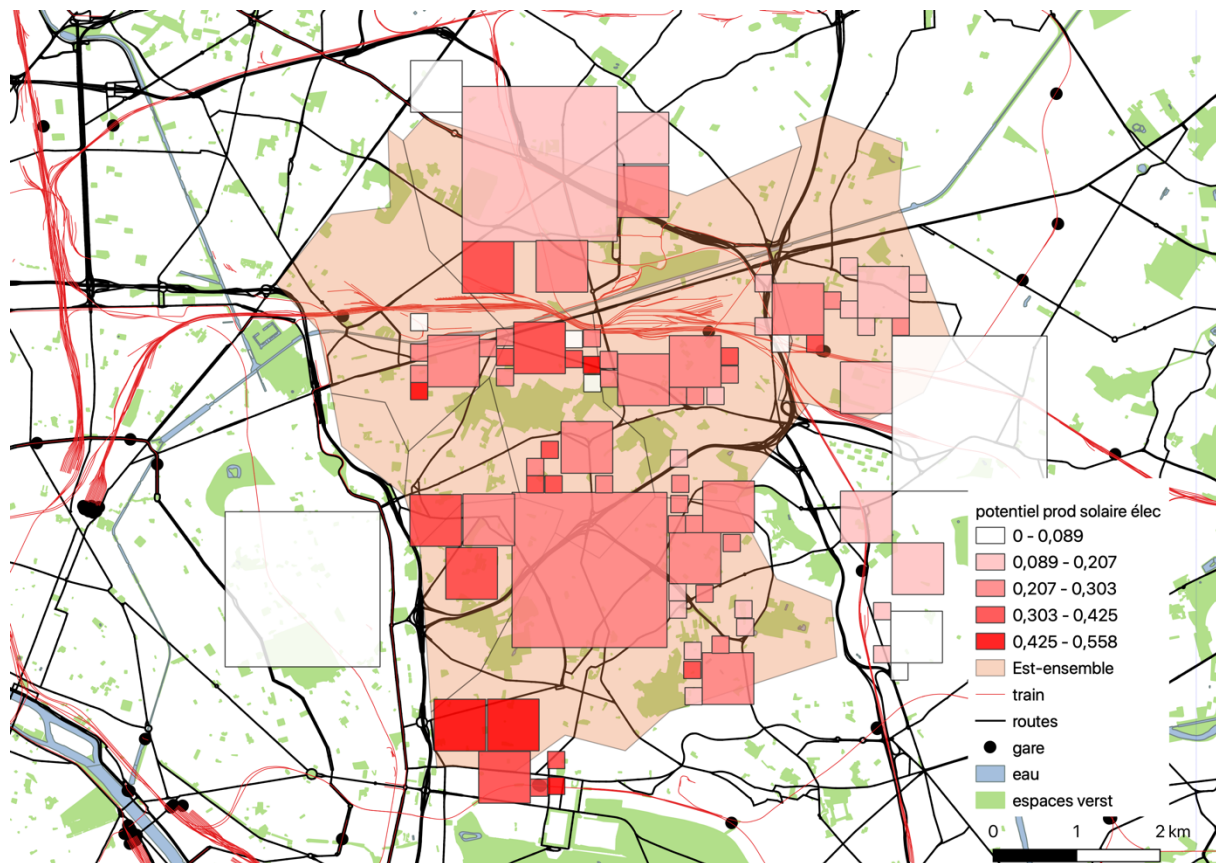


Figure 135 : Potentiel de production solaire électrique, données de l'APUR agrégées sur les carreaux **fractalopolis**

La Figure 135 révèle de nettes disparités dans le potentiel de production solaire électrique, ce qui suppose de renforcer les connexions entre les zones de manière à pouvoir consommer cette production potentielle, lorsqu'elle aurait effectivement lieu (selon les conditions d'ensoleillement), dans des voisinages plus importants. Nous avons donc conçu un réseau théorique en adéquation avec le zonage hiérarchique fonctionnel de **fractalopolis**, qui constituerait une ossature du réseau de distribution moyenne et basse tension (figure 136).

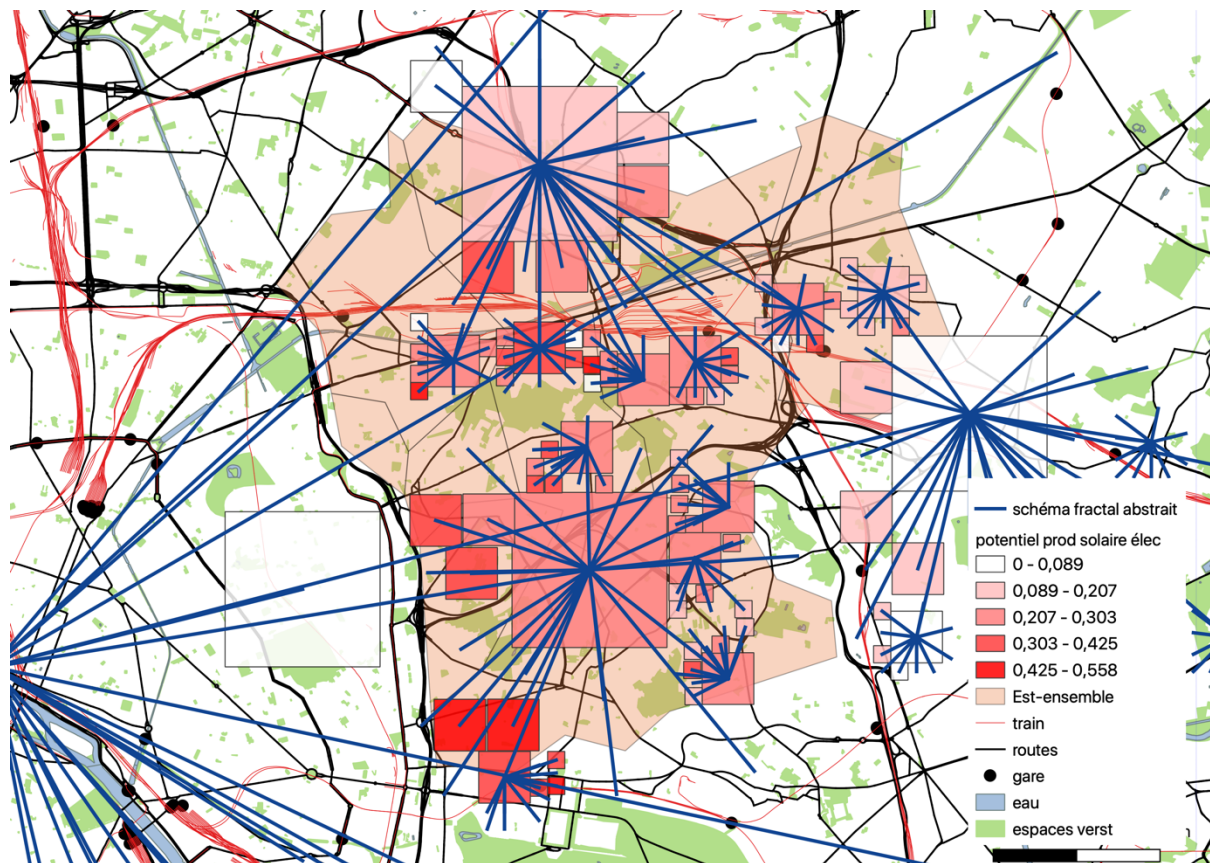


Figure 136 : Proposition de réseau théorique de distribution à partir du maillage hiérarchique *fractalopolis* du territoire

Ce réseau dessert effectivement l'ensemble du territoire, et non pas seulement les carrés du zonage, et présente un certain principe d'économie, à condition que la population et ses besoins soient bien conformes à la hiérarchie proposée, ce qui fait l'objet des scénarios s2 et s2 étudiés dans ce rapport.

Il est possible de rendre ce réseau théorique implantable en suivant la voirie, ce qui donne le réseau final proposé en figure 137. Ce réseau constitue l'ossature d'un réseau de distribution à la fois économe et résilient. Les propriétés d'un tel réseau ont été étudiées en détail par Yousra Sidqi dans sa thèse de doctorat (Sidqi, 2019).

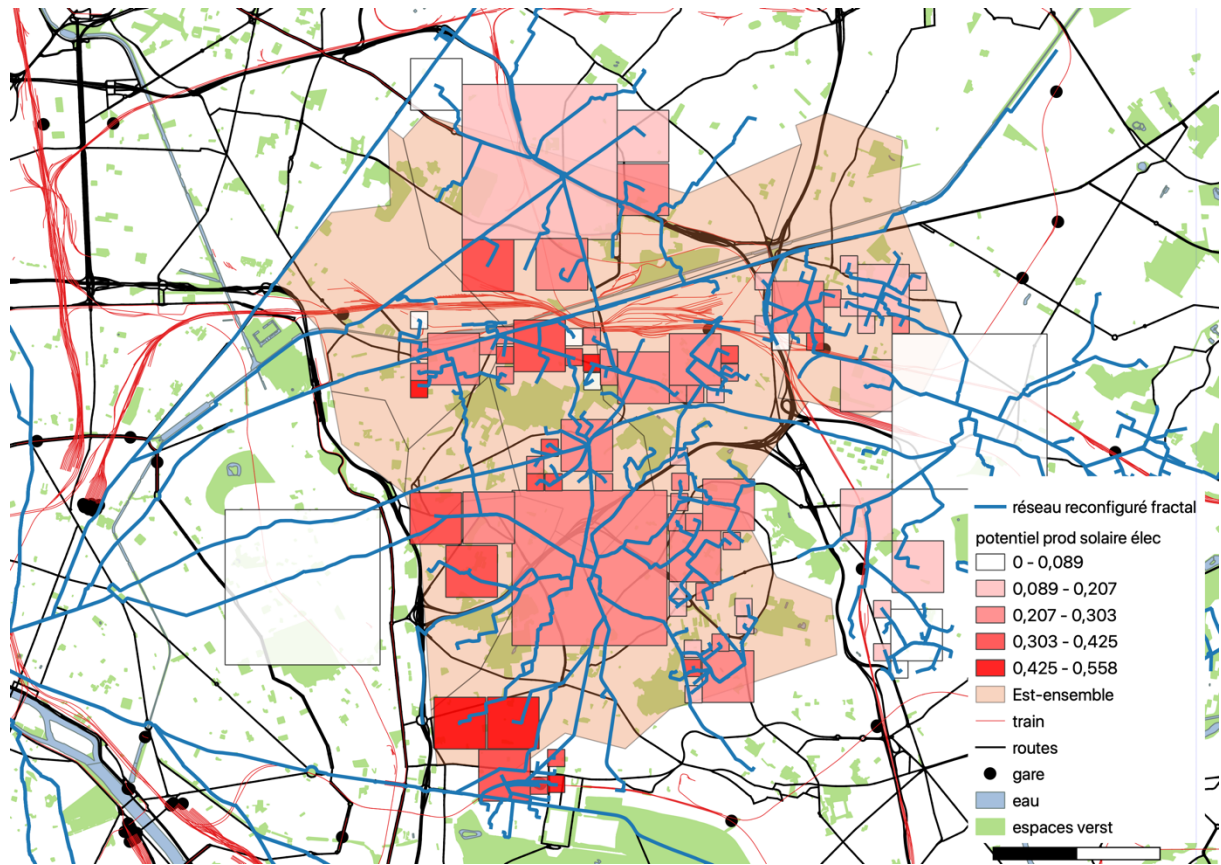


Figure 137 : Proposition de réseau théorique de distribution à partir du maillage hiérarchique **fractalopolis** du territoire, avec un tracé qui suit la voirie

## 9. Conclusion / Perspectives

---

Le projet SOFT, sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport, a abordé la question de la stratégie énergétique d'un territoire à l'aide d'un concept d'aménagement multi-échelle utilisant la géométrie fractale, qui s'appuie sur le logiciel **fractalopolis**. L'approche de la sobriété consiste à assurer la même qualité de vie aux habitants, mais avec une baisse des consommations énergétiques qui peut s'accompagner d'une évolution des pratiques. Elle se démarque ainsi de l'efficacité, qui repose purement sur la technique, mais n'est pas non plus la décroissance, qui peut voire la qualité de vie baisser et impacter fortement les modes de vie et les pratiques des habitants.

L'approche de la sobriété suppose de repenser la forme de la ville pour s'adapter à des contraintes multiples : 1/ préservations des trames vertes et bleues, voire renforcement, puisqu'elles participent au rafraîchissement urbain, à la qualité de vie des habitants, et sont compatibles avec des pratiques de circuit court comme le maraîchage et l'agriculture urbaine, 2/ diversité des densités de logement et de population, de manière à pouvoir mutualiser plus facilement des sources locales de production d'énergie, sans entraîner les inconvénients dus à la densité (congestion, renchérissement des logements, îlots de chaleur), et 3/ organisation hiérarchique des centralités, des commerces, des emplois et des aménités, de manière à maximiser les mobilités douces, tout en assurant la rentabilité économique des centres secondaires.

Les outils de **fractalopolis** permettent de créer au cas par cas un zonage multi-échelle adapté à chaque territoire, préservant des lacunes à différentes échelles pour la continuité des trames vertes et bleues, qui constitue une sorte de plan local d'urbanisme multi-échelle, décrivant une organisation hiérarchique fonctionnelle du territoire. Sur la base de ce zonage, il est possible d'estimer et d'ajuster un modèle de population pour avoir une répartition des logements en adéquation avec la hiérarchie spatiale proposée. Des évaluations d'accessibilité aux commerces et services sont effectuées, s'appuyant sur une classification fondée sur une hiérarchie théorique de besoin ainsi que sur les normes d'accessibilité présentes dans les documents d'urbanisme. Enfin, il est possible de faire évoluer la population, pour simuler une croissance urbaine, ou de reconfigurer la répartition spatiale des services, de manière à comparer des scénarios.

Le projet SOFT a appliqué ce concept au territoire d'Est-Ensemble, établissement public territorial situé à l'est de Paris. La phase de diagnostic a révélé un territoire déjà dense, mais avec des diversités de paysages, fort de trois arcs verts, et avec une population très porteuse de changements, avec des associations des actives, y compris dans le domaine de l'énergie. Le scénario spatial proposé vise donc à préserver et renforcer ces atouts, et s'appuie sur le prolongement à venir de la ligne 11 du métro qui modifiera les centralités existantes. Ce scénario laisse une place importante pour la production locale d'énergie, l'agriculture urbaine et le maraîchage, traditionnellement développés au sud du territoire. La piste du recyclage des excréta, plus novatrice et très cohérente avec la dynamique en place, a été explorée en détail.

Les résultats des analyses incitent à préserver et renforcer les spécificités du territoire. Les trois coulées vertes (canal de l'Ourcq, corniche des forts et zones de parcs à Montreuil) constituent des atouts forts conciliant rafraîchissement urbain, espace disponible pour la production locale d'énergie, maraîchage et agriculture locale. Il nous semble donc important de les sanctuariser le plus possible, et de renforcer au contraire des centralités historiques, par ailleurs confortées par le prolongement de la ligne 11 du métro, comme la place Carnot à Romainville. Les analyses d'accessibilité révèlent des déficits notables, qui pourraient être comblés par un renouveau du commerce de proximité, renouveau rendu possible par la reconcentration de la population et donc l'augmentation des aires de chalandise des commerces, assurant leur rentabilité.

Le redéveloppement du maraîchage, caractéristique historique du territoire, pourrait s'appuyer sur le développement du recyclage des excréta, techniques nouvelles extrêmement prometteuses, dont l'applicabilité au territoire a été étudiée en détail.

Enfin, les initiatives locales en faveur de l'énergie pourraient être soutenues par la monnaie locale, la Pêche, ce qui renforcerait encore la cohésion et l'image de ce territoire en transition, et soutiendrait efficacement, en circuit court, les nombreuses entreprises locales du secteur du bâtiment et de l'énergie.

A titre de prospective, nous proposons une extension de l'approche multi-fractale aux réseaux, qui permettrait une meilleure résilience du territoire et une plus forte adéquation du réseau avec les pratiques d'autoconsommation collective qui se développeront à l'avenir. On peut même imaginer qu'à terme, la Pêche puisse jouer son rôle dans l'autoconsommation collective du territoire, renforçant ainsi encore son autonomie et son exemplarité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- ADLER Emmanuel, 2020. Gérer les déjections humaines, un défi urbain le cas de la ville de Lyon, fin XVIIIe – début XXe s. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement. Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée. 347 p.
- Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation (ATIH). Chiffres clés de l'hospitalisation, année 2019. <https://www.atih.sante.fr/chiffres-cles-de-l-hospitalisation> [consulté le 2020/11].
- Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation (ATIH). Chiffres clés de l'activité externe à l'hôpital, année 2019. <https://www.atih.sante.fr/activite-externe> [consulté le 2020/11].
- AgroParisTech, 2019. Pour une agriculture innovante à impacts positifs. <https://ecologie-integrale.fr/wp-content/uploads/2019/04/Plaidoyer-fermes-avenir.pdf> ) [consulté le 2020/11].
- AMERIGO María, ARAGONES Juan Ignacio, 1997. Residential satisfaction in council housing. J. Environ. Psychol. 10, 313-325.
- ANGOLD P. G., SADLER J. P., HILL M. O., PULLIN A., RUSHTON S., AUSTIN K., SMALL E., WOOD B., WADSWORTH R., SANDERSON R., THOMPSON K., 2006. Biodiversity in urban habitat patches. Science of the Total Environment. N°360, 196-204.
- ANTONI Jean-Philippe, LUNARDI Nicolas, VUIDEL Gilles, 2016. Simuler les mobilités individuelles, les enjeux de l'information géographique. Revue internationale de géomatique. N°2/2016, 237-262.
- APPARICIO Philippe, SEGUIN Anne-Marie, 2006. L'accessibilité aux services et aux équipements : un enjeu d'équité pour les personnes âgées résidant en HLM à Montréal. Cahiers de géographie du Québec. Volume 50, Numéro 139, p. 23-44.
- A'urba, 2017. L'accès aux commerces et équipements de la vie quotidienne ; Résultats d'une enquête quantitative sur les usages et attentes des habitants dans l'aire métropolitaine de Bordeaux. Rapport d'étude. <https://www.aurba.org/productions/lacces-aux-commerces-equipements-de-vie-quotidienne/> [consulté le 2020/12].
- A'urba, 2020. Enquête sur les usages des espaces de nature. Aire métropolitaine de Bordeaux. <https://www.aurba.org/productions/enquete-sur-les-usages-des-espaces-de-nature/> [consulté le 2020/12].
- BALLION Robert, GRANJEAN Alain, 1982. Aire d'attractivité des espaces verts publics urbains de la région d'Ile-de-France. Laboratoire d'économétrie de l'école Polytechnique.
- BEAUVAIS Jean-Marie, DUFOUR Jean-Guy, THEVENON Jean, MILLE Marie-Noëlle, ROUTHIER Jean-Louis, SEGALOU Erwan, 2003. Évolution du commerce et utilisation de la voiture. Distribution des biens de consommation et usage de la voiture particulière pour motif « achat » dans les agglomérations françaises. Rapport de recherche DRAST/PREDIT, programme transport de marchandises, Tours. 134 p.
- BEAUCIRE Francis, ROSALES-MONTANO Silvia, DUFLOS Emmanuel, TURCHETTI Isabelle, 1999. Les outils de planification urbaine au service de la relation urbanisme/transport : approche dans la perspective du

développement durable. Synthèse de recherche, Projet DRAST/ PREDIT n°98MT115, Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme. 20 p.

- BEN-AKIVA Moshe, BOWMAN John, 1998. Activity based travel demand model systems. Equilibrium and Advanced Transportation Modeling. Boston : Kluwer. p. 27-46.
- BIHOUIX Philippe, 2014. L'âge des low tech, Vers une civilisation techniquement soutenable. Paris, Anthropocène, Seuil. 336 p.
- BONIN Olivier, TOMASONI Lorenza, 2015. Evaluation of a Transit-Oriented Development Scenario in a Medium-Sized French City by Simulation Models. International Journal of Transportation. Vol.3, No.1 (2015), pp. 91-112.
- BONIN Olivier, FRANKHAUSER Pierre, 2017. Accessibility, Amenities and Needs – a conceptual framework for exploring households' satisfaction. European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography. 7-11 September 2017, York, UK.
- BONIN Olivier, FRANKHAUSER Pierre, 2019. Quatorzièmes Rencontres de Théo Quant, Des fractales pour des villes résilientes et économes : enjeux théoriques et mathématiques. Février 2019. Laboratoire TheMA, Besançon.
- BOURGUIGNON Claude, 2008. Le sol, la terre et les champs. Paris, Sang de la Terre.
- BOUTEFEU Emmanuel, 2005. La demande sociale de nature en ville, enquête auprès des habitants de l'agglomération lyonnaise : extraits, documents. éditions PUCA-CERTU.
- BOUTEFEU Emmanuel, 2011. Les pratiques citadines de la nature. Certu, Université de Caen.
- BOUWMAN Mirjan E., 2000. Changing mobility patterns in a compact city: environmental impacts. In G. de Roo, et D. Miller (Eds.), Compact cities and sustainable urban development. A critical assessment of policies and plans from an international perspective, Aldershot UK: Ashgate Publishing. pp. 229-240.
- BOVERKET, 1999. Gröna områden i planeringen. Karlskrona, Sweden: Boverket.
- BREHENY Michael, GORDON J., ARCHER S., 1998. Building densities and sustainable cities. Project Outline 5, Engineering and Physical Sciences Research Council Sustainable Cities Programme, Swindon, UK.
- BREHENY Michael, 1997. Urban compaction: feasible and acceptable ? Cities, vol. 14, pp. 209-217.
- BROWN Stephen, 1989. Retail Location Theory: The Legacy of Harold Hotelling. Journal of Retailing. 65, pp. 450-470.
- BRUN Jacques, FAGNANI Jeanne, 1994. Lifestyles and locational choices-trade-offs and compromises: a case-study of middle-class couples living in the Ile-de-France region. Urban Studies. 31(6):921–934.
- BRYANT Margaret, 2006. Urban landscape conservation and the role of ecological greenways at local and metropolitan scales. Landscape and Urban Planning. 76(1–4), 23–44.

- BUSSEY, S. C., 1995. Woodlands as a Community Resource; The Public Use and Perception of the Woodlands in Redditch. In Community Woodlands in an Urban Context Edited by: Coles, R., Bussey, S. and Heslegrave, W. University of Central England.
- CALTHORPE Peter, 1993. The Next American Metropolis. Princeton, Princeton Architectural Press.
- CERVERO Robert, MURAKAMI Jin, 2010. Effects of built environment on vehicle miles traveled: evidence from 370 US urbanized areas. Environment and Planning A. 42 400–418.
- CERVERO Robert, 1996. Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American Housing Survey. Transportation Research Part A. 30(5), 361–377.
- CHARMES Eric, 2013. L’artificialisation est-elle vraiment un problème quantitatif ? Etudes Foncières. 162, 23-28.
- CHATZIMPIROS Petros, 2011. Les empreintes environnementales de l’approvisionnement alimentaire : Paris, ses viandes et lait, XIX<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècles. Thèse de doctorat en architecture et aménagement de l’espace. LATTS, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée. 367 p.
- CHAUFFREY Joseph, 2017. Mon petit jardin en permaculture : durable, esthétique et productif ! Mens, Terre Vivante.
- City of Ottawa, 2020. Official Plan and master plans, Greenspaces Master Plan, Section 3 : Achieving the Vision. <https://ottawa.ca/en/planning-development-and-construction/official-plan-and-master-plans/greenspace-master-plan/section-3-achieving-vision> [consulté le 2020/12].
- CLARK W. A. V., 1968. Consumer Travel Patterns and the Concept of Range. Annals of the Association of American Geographers. Volume 58, Issue 2.
- CLERC Milan, HAFFNER Maud, LEHMANN Xavier, PIOLI Rémi, POIREL Maylis, BONNEAU Patricia, COUSIN Julie, DE GOUVELLO Bernard, LABORDE Jean-Luc, BONIN Olivier, FRANKHAUSER Pierre, THEBERT Mariane, 2019. Projet SOFT (sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport), rapport du lot 2 : scénarios. Rapport intermédiaire du projet de recherche SOFT pour l’ADEME.
- COLLINGE Sharon K., 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation : Implications for landscape architecture and planning. Landscape and Urban Planning. 36(1), 59–77.
- CRANE Randall, 2000. The impacts of urban form on travel : An interpretive review. Journal of Planning Literature. 15:3-23.
- DALPE Yolande, 2005. Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. Phytoprotection, Vol. 86, n°1, pp. 1–86.
- DAMERON Catherine, 2015. Représenter la proximité temporelle, Cartographie des temps d’accès à pied aux aménités du quotidien dans l’agglomération rennaise. Bureau des temps. CFC N°225.
- DECLEVE Bernard, DE LESTRANGE Roselyne, GALLEZOT Helene, MANTZIARAS Panos, 2020. Dessiner la transition – dispositifs pour une métropole écologique. Genève, Métis Presses, coll. Vues d’ensemble.
- DEKARZ Damien, 2019. La permaculture au jardin mois par mois. Escalquens, Editions de Terran.

- DE LOOZE Renaud, 2018. L'urine - de l'or liquide au jardin. Escalquens, Editions de Terran.
- DENDONCKER Nicolas, 2020. L'approche par les services écosystémiques – Un levier pour l'agriculture urbaine ? In : Declève, B. et al. (dir.). Dessiner la transition - dispositifs pour une métropole écologique, Genève, Métis Presses, coll. Vues d'ensemble.
- DUBOIS-TAINE Geneviève, CHALAS Yves, 1997. La ville émergente. La Tour d'Aigue, Edition de l'Aube.
- DUBRULLE Romane, 2018. Le prolifique jardin des Fraternités ouvrières. Silence. n° 471, pp. 34-35.
- DUPUY Gabriel, 2002. Cities and automobile dépendance revisité : les contrariétés de la densité. Revue d'Economie Régionale et Urbaine. I, 141-156.
- ELAIN Christophe, 2007. Un petit coin pour soulager la planète. Toilettes sèches et histoires d'eau, Vanxains, Association Eauphilane.
- ELLAWAY Anne, MACINTYRE Sally, KEARNS Ade, 2001. Perceptions of place and health in socially contrasting neighbourhoods. Urban Studies. 38(12) pp. 2299-2316.
- English Nature, 2011. Official Plan and master plans, Greenspaces Master Plan, Section 3 : Achieving the Vision. <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/65021> [consulté le 2020/12].
- ESCULIER Fabien, 2018. Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques. Thèse de doctorat en science de l'environnement. LEESU, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée. 534 p.
- EVANS Gary W., 2003. The built environment and mental health. Journal of Urban Health. 80(4) pp. 536-555.
- FENG Shu, CHEN Liding, SUN Ranhao, FENG Zhiqiang, LI Junran, SADIQ KHAN Muhammad, JING Yongcai , 2019. The Distribution and Accessibility of Urban Parks in Beijing, China: Implications of Social Equity. Int J Environ Res Public Health. 16(24): 4894.
- FORMAN Richard T. T., 1995. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: University Press.
- FOUCHIER Vincent, 1995. La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées. Les Annales de la Recherche Urbaine. 67:95–108.
- FRANKHAUSER Pierre, 1994. La fractalité des structures urbaines. Paris, Economica, Anthropos, collection Villes.
- FRANKHAUSER Pierre (Dir.), HOUOT Hélène, TANNIER Cécile, VUIDEL Gilles, 2007. Vers des déplacements péri-urbains plus durables : proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisation. Rapport final, PREDIT.
- FRANKHAUSER Pierre, 2008. Fractal geometry for measuring and modeling urban patterns. in : The Dynamics of Complex Urban Systems - an interdisciplinary approach, Physica-Verlag (Springer), Heidelberg. pp. 213-244.



- FRANKHAUSER Pierre, HOUOT Hélène, BONIN Olivier, TOMASOMI Lorenza, LUNARDI Nicolas. Evaluating environmental and social impacts of a transit oriented development scenario based on a fractal approach, 2017. 54th ERSA Congress in St Petersburg.
- FRANKHAUSER Pierre, 2015. From fractal urban pattern analysis to fractal urban planning concepts., in Computational Approaches for Urban Environments. Geotechnologies and the Environment. pp. 13-48.
- FRANKHAUSER Pierre, TANNIER Cécile, VUIDEL Gilles, HOUOT Hélène, 2018. An integrated multifractal modelling to urban and regional planning. Computers, Environment and Urban Systems. 67, pp. 132-146.
- FRANKHAUSER Pierre. FRACTALOPOLIS - A fractal concept for the sustainable development of metropolitan areas. In : Patricia Sajous et Cyrille Bertelle (edts), Complex Systems, smart territories and mobility, Springer.
- FREY H. W., 2000. Not green belts but green wedges: the precarious relationship between city and country. Urban Design International. 5, pp. 13-25.
- FUKUOKA Masanobu, 2005. La révolution d'un seul brin de paille : une introduction à l'agriculture sauvage. Paris, G. Trédaniel.
- GALLEZ Caroline, DE CONINCK Frédéric, 2017. Changement des pratiques vers la sobriété énergétique. Dossier présenté par les étudiants de la 3<sup>ème</sup> année de Licence géographie & aménagement - études urbaines (année 2016-2017) dans le cadre du projet VITE - Villes et transitions énergétiques : enjeux, leviers, processus et évaluation prospective pluridisciplinaire. Application à la région Île-de-France, 2014-2019, financé par l'ANR.
- GAULT Guénaëlle, BEDEAU Laurence, 2007. Les Français et leur habitat- Perception de la densité et des formes d'habitat, Principaux enseignements du sondage réalisé pour l'Observatoire de la Ville du 10 au 12 janvier 2007. TNS Sofres, Département Stratégies d'Opinion/Société.
- GORDON Peter, RICHARDSON Harry W., 1997. Are compact cities a desirable planning goal ? Journal of the American Planning Association. 63 95–106.
- GUO Jessica, BHAT Chandra, 2002. Residential Location Modeling : Accommodating Sociodemographic, School Quality and Accessibility Effects. Austin, TX: Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin.
- HALL Peter, 1997. The future of the metropolis and its form. Regional Studies. 31(3), 211–220.
- HAMADA Shuko, OHTA Takeshi, 2010. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. Urban Forestry & Urban Greening. 9(1) 15-24.
- HANSEN Walter G., 1959. How Accessibility Shapes Land Use. Journal of the American Institute of Planners 25, 73–76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307> [consulté le 2020/12].
- HARCHAOUI Souhil, 2019. Modélisation des transitions en agriculture : énergie, azote, et capacité nourricière de la France dans la longue durée (1882-2016) et prémices pour une généralisation à l'échelle mondiale. Thèse de doctorat en géographie et environnement. Laboratoire interdisciplinaire des Energies de Demain, Université de Paris, Paris.

- HARRIS Larry, 1984. The Fragmented Forest. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- HERVE-GRUYER Charles, HERVE-GRUYER Perrine, 2014. Permaculture : guérir la terre, nourrir les hommes. Arles, Actes Sud.
- HOBDEN D., LAUGHTON Garry, MORGAN K., 2004. Green Space Borders. A Tangible Benefit ? Evidence from Four Neighbourhoods in Surrey, British Columbia. Land Use Policy 21 129–38.
- HOFFMANN Elaine, BARROS Henrique, RIBEIRO Ana Isabel, 2017. Socioeconomic Inequalities in Green Space Quality and Accessibility-Evidence from a Southern European City. Int J Environ Res Public Health. 14(8) : 916.
- HOLZER Sepp, 2011. La permaculture de Sepp Holzer. Marsac, Éditions Imagine un colibri.
- HORNSTEN Lisa, 2000. Outdoor Recreation in Swedish Forests-Implications for Society and Forestry. Silvestria, Swedish University of Agricultural Sciences.
- HOTELLING Harold, 1929. Stability in Competition. 39 Economic Journal, 41 (10.2307), 222421441.
- IGN, 2020. BD Topo Version 3.0, Descriptif de contenu, les bases vectorielles. [https://geoservices.ign.fr/ressources\\_documentaires/Espace\\_documentaire/BASES\\_VECTORIELLES/BDTOPO/DC\\_BDTOPO\\_3-0.pdf](https://geoservices.ign.fr/ressources_documentaires/Espace_documentaire/BASES_VECTORIELLES/BDTOPO/DC_BDTOPO_3-0.pdf) [consulté le 2020/12].
- INSEE, 2019. Base permanente des équipements. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/source/serie/s1161> [consulté le 2020/12].
- Institut Paris Région (2017). Une métropole à ma table. L'Île-de-France face aux défis alimentaires. Les Cahiers de L'Institut Paris Region n° 173. <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/une-metropole-a-ma-table-lile-de-france-face-aux-defis-alimentaires.html> [consulté le 2020/12].
- Institut Régional de Développement du Sport (IRDS), 2013. Notoriété et fréquentation des bases de loisirs en Ile-de-France, Les dossiers de l'IRDS N°23. <https://www.irds-idf.fr/nos-travaux/publications/notoriete-et-frequentation-des-bases-de-loisirs-en-ile-de-france.html> [consulté le 2020/12].
- Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ), 2013. Accessibilité géographique aux commerces alimentaires au Québec : analyse de situation et perspectives d'interventions. [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1728\\_AccessGeoCommAlimentQc.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1728_AccessGeoCommAlimentQc.pdf) [consulté le 2020/12].
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), 2019. Des actions pour une utilisation et une conception optimale des espaces verts. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2517> [consulté le 2020/12].
- JANCOVICI Jean-Marc, 2013. Transition énergétique pour tous. Ce que les politiques n'osent pas vous dire. Paris, Poches Odile Jacob.
- JENKINS Joseph, 2017 (1996). Le petit livre du fumain – Manuel de compostage du fumier humain. Montréal, Ecosociété.

- JENSEN Marina Bergen, PERSSON B., GULDAGER S. REEH U. and NILSSON K., 2000. Green structure and sustainability: developing a tool for local planning. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 52, pp.117–133.
- JONES Ken, SIMMONS Jim, 1990. *The retail environment*. London, UK: Routledge Publication.
- JONGMAN Rob H., KÜLVIK Mart, KRISTIANSEN Ib, 2004. European ecological networks and greenways. *Landscape and urban planning*. vol. 68, no. 2, pp. 305-319.
- KAHN Matthew E., 2000. The Environmental Impact of Suburbanization. *Journal of Policy Analysis and Management*. 19 (4) 569-586.
- KAPLAN Stephen, 1995. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*. Volume 15, Issue 3, September 1995. Pages 169-182.
- KONG Fanhua, YIN Haiwei, JAMES Philipp., HUTYRA Lucy R., et HE Hong S., 2014. Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban Planning*. 128, 35–47.
- KRIER Léon, 1998. *Architecture: Choice or fate*. Windsor, Berks, UK : Andreas Papadaki Publisher.
- KUTTLER Wilhelm, DÜTEMEYER Dirk, BARLANG Andreas Bent, 1998. Influence of regional and local winds on urban ventilation in Cologne, Germany. *MeteorologischeZeitschrift*. N.F. 7:77-87,
- KUTTLER, Wilhelm, 2011. Climate change in urban areas. Part2, Measures, *Environmental Sciences Europe*. 23:21, 15 p.
- LAPORTE Dominique, 1978. *Histoire de la merde*, Paris, Christian Bourgois Editeur.
- LATKIN Carl A., CURRY Aaron D., 2003. Stressful neighborhoods and depression: a prospective study of the impact of neighborhood disorder. *Journal of Health and Social Behavior*. 44(1):34-44.
- LEGRAND Marine, 2020 (sous presse). *Digestions fertiles – Le retour au sol des excréments humains*. *Revue d’Anthropologie des Connaissances*. Dossier spécial « Le sol, nouvelle frontière pour les savoirs et les politiques de l’environnement ».
- LEHEC Elisabeth, 2018. *La remise en cause des services urbains en réseau, une approche par la technique : le cas du compostage des déchets en pied d’immeuble à Paris*. Thèse de doctorat en géographie. Géographie-cités, Université Paris 1, Paris.
- LERMAN Steven R., 1976. Location, housing, automobile ownership, and mode to work: a joint choice model. *Transportation Research Record*. vol. 610, pp. 5-11.
- LE VAN Elsa, 2008. *Les surfaces d’activité économique au sein de l’Aire Urbaine de Lyon*. *Laboratoire d’Économie des Transports*. Rapport Intermédiaire n°7 du projet Simbad, PREDIT.
- LEVY Albert, 2005. *Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine*. *Espaces et sociétés*. Vol. 4, N°122, pp. 25-48.

- LINEHAN John, GROSS Meir, FINN John, 1995. Greenway planning: developing a landscape ecological network approach. *Landscape and Urban Planning*. vol. 33, pp. 179-193.
- L'Institut Paris Région, 2008. Démarche exploratoire pour une hiérarchisation des équipements en Île-de-France. <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/demarche-exploratoire-pour-une-hierarchisation-des-equipements-en-ile-de-france.html> [consulté le 2020/11].
- L'Institut Paris Région, 2017. Plan Vert de l'Île-de-France : la nature pour tous et partout - 2017-2021. <https://www.arb-idf.fr/article/plan-vert-regional> [consulté le 2020/11].
- LIU C.F., LI X.M., 2010. Accessibility analysis of urban parks : methods and key issues. *Acta Ecol. Sin.* ; 30:5381–5390.
- LOWENFELS Jeff, 2016. *Un sol vivant : un allié pour cultiver*. Rodez, Editions du Rouergue.
- LOWRY, Ira S., 1964. A model of metropolis (No. RM-40535-RC). RAND CORP SANTA MONICA CALIF.
- MADEC Philippe et al., 2008. Le bio-îlot et la ville de la pantoufle. in *Ecologik* N° 5.
- MANGENEY Catherine, 2011. Mesurer l'accessibilité à l'offre de proximité. *Les Cahiers de l'IAU îdF*. n° 157.
- MASLOW Abraham, 1954. *Motivation and Personality*. Harper et Row, New-York. ISBN 9780060419875.
- MAUPU Jean-Louis, STRANSKY Vaclav, 2017. Mieux agencer les lieux et les circulations pour lutter contre le réchauffement climatique. Avec les principes de la ville creuse ? *Norois – Environnement, aménagement, société*. n° 245, 2017/4, pp. 75-88.
- MAX-NEEF, Manfred A., 1991. *Human scale development*. The Apex Press. New-York and London ISBN 0-945257-35-X.
- MEYER Kathleen, 2001. *Comment chier dans les bois : Pour une approche environnementale d'un art perdu*. Ervoz, Edimontagne.
- MOLLISON Bill, HOLMGREN David, 1986. *Permaculture 1*. Paris, Editions Debard.
- MOLLISON Bill, 1981. *Permaculture 2 : Aménagements pratiques à la campagne et en ville*. Flers, Equilibres.
- MOREL Kevin, 2016. Viabilité des microfermes maraîchères biologiques : une étude inductive combinant méthodes qualitatives et modélisation. [S.l.], AgroParisTech.
- NELSON Richard L., 1958. The selection of retail locations FW Dodge Corporation.
- NEUMAN Michael, 2005. The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research*. 25, 11–26.
- NEWMAN Peter, KENWORTHY Jeffrey, 1989. *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*. Gower, Aldershot/Brookfield, VT.

- NIELSEN Thomas Sick, HANSEN Karsten Bruun, 2007. Do green areas affect health ? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Health Place*. 13:839–850.
- OWENS Susan E., 1992. Land-use planning for energy efficiency. *Applied Energy*. 43 81-114.
- PESTY, A.-M. (2020). La végétalisation du bâti, notamment des toitures et façades, peut-elle répondre à l'enjeu de résilience urbaine face au changement climatique ? Mémoire 1<sup>ère</sup> année du Master Urbanisme et Aménagement. Ecole d'Urbanisme de Paris, Université Paris-Est.
- PICKARD Brian R., DANIEL Jessica, MEHAFFEY Megan, JACKSON Laura E., NEALE Anne, 2015. EnviroAtlas : A new geospatial tool to foster ecosystem services science and resource management. *Ecosystem Services*. 14, 45–55.
- POUYANNE Guillaume, 2004. Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine/mobilité. *Méthodologie, premiers résultats. les Cahiers Scientifiques du Transport*. 45, 49-82.
- PRUVOST-BOUVATTIER Manuel, VIALLEX, M., JOVENIAUX, A., ESCULIER, F., 2020. Valoriser l'azote et le phosphore des urines pour une meilleure sécurité écologique et alimentaire. Note rapide de l'Institut Paris Région. n° 858, ISSN 2724-928X, ISSN ressource en ligne 2267-4071.
- QURESHI Salman, BREUSTE Jurgen H., 2010. Chapter 27. Prospects of biodiversity in the mega-city of Karachi, Pakistan: Potentials, constraints and implications. In N. Muller, P. Warner, & J. G. Kelcey (Eds.). *Urban biodiversity and design, conservation science and practice* n°7.
- REMY Jean, 1994. La ville : réseau alvéolaire et mobilité spatiale. in : Pellegrino, P. (ed) *Figures architecturales – formes urbaines*. Anthropos, Genève.
- SACHSEN Timo, KETZLER Gunnar, KNÖRCHEN Achim, SCHNEIDER Christoph, 2013. Past and future evolution of nighttime urban cooling by suburban cold air drainage in Aachen. *Die Erde - Journal of the geographic Society in Berlin*. 144(3–4), 274–289.
- SAULNIER Nathalie, 2006. De la qualité de vie au diagnostic urbain : vers une nouvelle méthode d'évaluation : le cas de la ville de Lyon. CERTU.
- SAVARD Jean-Paul, CLERGEAU Philippe, MENNECHEZ Gwenaëlle, 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*. 48, 131–142.
- SCHWANEN Tim, DIJST Martin, DIELEMAN Frans M., 2004. Policies for urban form and their impact on travel : The Netherlands experience. *Urban Studies*. 41(3), 579–603.
- SHEPARD Mark, 2016. *Agriculture de régénération*, Marsac. Editions Imagine Un Colibri (traduit de l'anglais *Restoration agriculture*, 2013).
- SIDQI Yousra, 2019. Analyse et planification fractales des réseaux électriques du futur. thèse de doctorat en génie électrique. Laboratoire de génie électrique, Université Grenoble Alpes (ComUE). 133 p.
- SIEVERT Thomas, 1997. Zwischenstadt. *Bauwelt Fundamente* 118.
- SOTOUDEHNNIA Fariba, COMBER Lex, 2011. Measuring Perceived Accessibility to Urban Green Space : An Integration of GIS and Participatory Map. AGILE.

- SPRONKEN-SMITH R. A., OKE T. R., 1999. Scale Modelling of Nocturnal Cooling in Urban Parks Boundary-Layer Meteorology. vol. 93, Issue 2, pp. 287-312.
- STÅHLE Alexander, 2009. More green space in a denser city : Critical relations between user experience and urban form. Paper submitted to Urban Design International.
- STIF-OMNIL-DRIEA, 2010. Enquête Globale Transport, Région île-de-France. <http://www.omnil.fr/spip.php?article81> [consulté le 2020/11].
- STRANSKY Vaclav, 2013. Repenser les modes de transport. Constructif. n°35, pp. 82-85.
- STRANSKY Vaclav, 2019. La forme urbaine au prisme de la géométrie fractale : un phénomène aux propriétés émergentes ? in : Hautbois (X.), Laliberté (M.), Stransky (L.), Stransky (V.) (sous la direction de), L'émergence en musique – Dialogue des sciences. éd. Delatour France, coll. aCROSS. pp. 71-96.
- SUGIYAMA Takemi, FRANCIS Jacinta, MIDDLETON Nicolas J., OWEN Neville, GILES-CORTI Billie, 2010. Associations between recreational walking and attractiveness, size, and proximity of neighborhood open spaces. American Journal of Public Health. 100, 1752-1757.
- TANNIER Cécile, VUIDEL Gilles, HOUOT Hélène, FRANKHAUSER Pierre, 2012. Spatial accessibility to amenities in fractal and nonfractal urban patterns. Environment and Planning B. Vol. 39, pp. 801 – 819.
- TOFTAGER Mette, EKHOLM, Ola, SCHIPPERIJN Jasper, STIGSDOTTER Ulrika K., 2011. Distance to Green Space and Physical Activity : A Danish National Representative Survey. Journal of Physical Activity and Health. 8, 741 -749.
- TOURNEUX François Pierre, 2006. L'évolution de l'occupation du sol dans les franges franciliennes : des artificialisations concentrées plus qu'un étalement urbain ? In: Larceneux A et Boiteux-Orain C (eds) Paris et ses franges: étalement urbain et polycentrisme. Dijon, Editions universitaires de Dijon. 101.
- VAN HOVE Bert, JACOBS Cor, HEUSINKVELD Bert, ELBERS J. A., VAN DRIEL B. L., HOLTSLAG A. A. M., 2015. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. Building and Environment. 83 91-103.
- WALIGORA Cécile, 2016. Faune utile des bords de champs. Paris, France Agricole.
- WHO Regional Office for Europe, 2016. Urban green spaces and health. Copenhagen. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/urban-health/publications/2016/urban-green-spaces-and-health-a-review-of-evidence-2016> [consulté le 2020/12].
- WIEL Marc, TAUTY Simon, ROLLIER Yann, MORVAN Anne, LE GUIRRIEC Patrick, DESSE René-Paul, BARTHELEMY Jean-Paul, 1997. Comportement de mobilité et évolution de l'organisation urbaine (région urbaine de Brest). Etude pour la DRAST, la DTT, l'UTP, le Plan urbain, Agence de développement et d'urbanisme du pays de Brest 2.
- YAMU Claudia, FRANKHAUSER Pierre, 2015. Spatial accessibility to amenities, natural areas and urban green spaces: using a multiscale, multifractal simulation model for managing urban sprawl. Environment and Planning B: Planning and Design. vol. 42, 6 : pp. 1054-1078.

## INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Population, superficie et densité moyenne des communes d'Est Ensemble. Source : INSEE, RGP, traitement Alexandre Bouton et Meriam Bechir.....	11
Figure 1 : Conditions du développement urbain d'Est Ensemble, d'après son projet urbain. Source : projet urbain .....	11
Figure 2 : Typologie de l'habitat d'Est Ensemble. Source : PLH.....	12
Figure 3 : Datation du bâti (période de construction à la parcelle). Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR.....	13
Figure 4 : Estimation de la précarité énergétique établie pour Est Ensemble .....	14
Figure 5 : Consommation d'énergie (à gauche) et émissions de CO2 (à droite). Source : Profil Climat Energie Territoire.....	14
Figure 6 : Consommation d'énergie par commune et par type d'activité. Source : Profil Climat Energie Territoire.....	15
Figure 7 : Rapport entre énergie solaire incidente en toiture et la surface habitable. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR .....	15
Figure 8 : Parcelles éligibles à la géothermie fermée. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR, 2015 .....	16
Figure 9 : Les réseaux de chaleur à Est Ensemble. Source : CDT, Évaluation environnementale, EST ENSEMBLE, 2013.....	17
Figure 10 : Les chaufferies à Est Ensemble. Source Urban Act, traité par M.Bechir.....	17
Figure 11 : Les sources d'énergie fatale locale. Source : Un PLE pour la Métropole du Grand Paris, APUR, 2015 .....	18
Figure 12 : Centre de tri des déchets à Romainville. Source : www.syctom-paris.fr.....	18
Tableau 2 : Tableau de synthèse du potentiel des énergies renouvelables d'Est Ensemble. Source : Profil Climat Énergie Territoire, Est Ensemble, 2014.....	19
Figure 13 : ZAC de la plaine de l'Ourcq. Source : ZAC du quartier durable de la Plaine du Canal de l'Ourcq Noisy-le-Sec (93), SEQUANO-CapTerre, 2015.....	19
Figure 14 : Les stations du réseau ferré existant. Source : ITEM .....	21
Figure 15 : Transport de vélo par tramway à crémaillère à Stuttgart .....	22
Figure 16 : Projet de ligne Tzen 3. Source : site web du Tzen 3.....	22
Figure 17 : Desserte en transports en commun intégrant les projets en cours. Source : projet urbain de Romainville.....	23
Figure 18 : projet de téléphérique urbain à Romainville.....	24
Figure 19 : Hiérarchisation fonctionnelle du réseau. Source : ITEM.....	25
Figure 20 : Identification des secteurs problématiques du réseau. Source : ITEM.....	25
Figure 21 : Éléments du grand paysage d'Est Ensemble. Source : Contrat de ville Est Ensemble.....	26
Figure 22 : Coupures et enclaves urbaines. Source : Atlas Est Ensemble, IAU-IDF, 2011.....	27
Figure 23 : Zones à effet d'îlots de chaleur urbain en 2003. Source : IAU .....	28
Figure 24 : Zones locales climatiques déterminées par l'IAU. Source : cartoviz iau.....	28
Figure 25 : Structure des âges des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	29
Figure 26 : Structure des professions et catégories socio-professionnelles des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	30
Figure 27 : Structure des diplômes des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	30
Figure 28 : Types de ménages des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	31
Figure 29 : Statut d'occupation des logements des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	31
Figure 30 : Type de logement des derniers arrivés dans la commune (moins de 5 ans) et de l'ensemble de la commune.....	32
Figure 31 : Commune d'origine des migrations résidentielles vers Est-Ensemble .....	32
Figure 32 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (tous modes confondus).....	33
Figure 33 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler en transports en commun) .....	33
Figure 34 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler en véhicule particulier).....	34
Figure 35 : Communes de travail des habitants d'Est-Ensemble (individus allant travailler à pied) .....	34

Figure 36 : Matrice d'adjacence du graphe des variables.....	38
Figure 37 : Représentation des variables selon leur degré entrant et sortant ; la matrice d'adjacence du graphe a été élevée à la puissance 5.....	40
Tableau 3 : recensement des leviers territoriaux et comportementaux pour aller vers la sobriété énergétique .....	41
Figure 38 : Grille d'analyse de l'accessibilité.....	42
Figure 39 : Grille d'analyse de l'agriculture urbaine .....	43
Figure 40 : Grille d'analyse de la production d'énergie .....	44
Figure 41 : Grille d'analyse des comportements de consommation.....	45
Figure 42 : Grille d'analyse des comportements de mobilité.....	46
Figure 43 : Positionnement d'Est-Ensemble dans la grille .....	47
Figure 44 : Un exemple possible d'implantation des différents secteurs d'activité.....	51
Figure 45 : Carte des Lilas et de ses associations.....	56
Figure 46 : Carte des associations et MOS aux Lilas .....	57
Figure 47 : Carte des associations de Romainville et de son mode d'occupation des sols .....	58
Figure 48 : Carte du tissu associatif romainvillois .....	59
Tableau 4 : Population montreuilloise de plus de 15 ans selon leur catégorie socioprofessionnelle - Sources : Insee, RP2016, exploitations complémentaires, géographie au 01/01/2019 .....	59
Tableau 5 : l'offre associative rapportée à la population et au territoire.....	60
Figure 49 : Protection d'un couloir de ventilation dans l'agglomération de Stuttgart .....	101
Figure 50 : Taille d'un espace vert et capacité d'accueillir une espace d'animaux, (b) : Zones vertes et réserves agricoles à Rennes.....	102
Figure 51 : le schéma de Fractalopolis .....	103
Figure 52 : La construction du zonage par itération.....	104
Figure 53: Déformation du tapis de Sierpinski pour s'adapter à un territoire .....	104
Figure 54 : les zones de chalandise d'ordre deux, entouré de traits rouges, est les centres correspondants, indiquées en rouge. Le centre principal assure évidemment aussi cette fonction ...	105
Figure 55 : système de codage ; le passage de la première étape d'itération à la deuxième et l'axe « Est » de la troisième étape d'itération .....	105
Figure 56 : le principe de la répartition de la population (cf. texte) .....	105
Tableau 6 : le modèle de population et un exemple des valeurs de poids (cf. texte) .....	106
Figure 57 : Deux exemples de la répartition des ménages le long d'un axe principal. L'exemple à droite s'approche plus d'un modèle de décroissance axiale, l'autre modèle est strictement hiérarchisé. ....	107
Figure 58 : Liens entre besoins, satisfiers, ainsi que biens et services (sélection).....	111
Tableau 7 : Grille d'analyse des aménités à considérer (trois premières étapes d'itération).....	113
Tableau 8 : National open space guidelines (Boverket, 1999 ; Stähle, 2009) .....	114
Tableau 9 : Typologie des espaces verts, naturels et de loisirs selon L'Institut Paris Région (2019). ....	115
Figure 59 : La formalisation de la satisfaction des ménages (cf. texte) .....	117
Figure 60 : les aires d'accessibilité des entrées d'un espace vert .....	117
Figure 61 : Fenêtre de paramétrage et les valeurs choisis pour les commerces et services du niveau 4 .....	118
Tableau 10 : Seuils de distance d'accès des commerces et services par niveau hiérarchique.....	119
Figure 62 : Cercles d'accessibilité piétonne aux équipements du quotidien (Madec et all., 2008) ....	120
Tableau 11 : Typologie des commerces et services avec le pourcentage d'utilisateurs.....	121
Tableau 12 : Seuils de distance d'accès des espaces verts par niveaux hiérarchique .....	121
Tableau 13 : Pourcentages d'utilisateurs par type d'espaces verts et de loisirs.....	123
Figure 63 : Évaluation de la rentabilité sur une grille carroyée régulière .....	123
Tableau 14 : Données d'emploi et de surface par types d'activités (Le Van, 2008) .....	124
Figure 64 : Répartition des activités du programme <b>fractalopolis</b> .....	125
Figure 65 : Exemples de zones de rentabilité de certains magasins et services d'Est-Ensemble .....	125
Figure 66 : Utilisation de polygones quelconques pour ajuster le zonage de certains carrés ; chaque polygone utilisé a la même surface que le carré correspondant dans le zonage régulier. Ici ce sont les zones de développement qui sont représentés en vert .....	127
Figure 67 : Extrait du système d'information constitué, montrant Est Ensemble en orange et les secteurs opérationnels de projet en gris clair.....	128
Figure 68 : la zone d'étude qui correspond au « Très Grand Paris » .....	128
Figure 69 : Le générateur multifractal des simulations à l'échelle du Très Grand Paris avec désignation des sou-centres (cf. texte) .....	129
Figure 70 : La troisième étape d'itération du scénario proposé pour le Très Grand Paris. La zone entourée par un carré rouge est la zone reprise dans le projet Paris-Est.....	130



Figure 71 : Position d'Est Ensemble dans le système de la petite couronne.....	130
Figure 72 : Superposition du réseau du Grand Paris (projet, en rouge) et du zonage élaboré pour l'analyse d'Est Ensemble .....	131
Figure 73 : Secteurs opérationnels de projet (en gris) superposés au zonage d'analyse d'Est Ensemble .....	131
Figure 74 : la troisième étape d'itération, zoom sur la zone d'étude. Sont également affichées les zone protégées (cf. texte) .....	132
Figure 75 : le système de trames vertes et bleues proposé.....	133
Figure 76 : passerelle piétons traversant le canal de l'Ourcq reliant le parc départemental de la Bergère à Romainville (source : google maps) .....	133
Figure 77 : la partie Nord du système connecté de trames vertes au cœur de la zone d'étude .....	134
Figure 78 : Partie centrale du système connecté de trames vertes .....	134
Figure 79 : Romainville, Allée Bellevue.....	135
Figure 80 : Rosny-sous-Bois, Mail Jean-Pierre Timbaut.....	135
Figure 81 : Rosny-sous-Bois, Rue du Général Gallieni.....	135
Figure 82 : Montreuil, secteur du mur à pêches.....	136
Figure 83 : zone protégée de Montreuil (cf. texte) .....	136
Figure 84 : Montreuil, rue Jules Ferry .....	137
Figure 85 : Montreuil, Rue des lumières .....	137
Figure 86 : zone de Fontenay-sous-Bois et Nogent-sur-Marne .....	138
Figure 87 : Fontenay-sous-Bois, rue André Tessier.....	138
Figure 88 : la répartition des ménages entre le centre et les centres périphériques pour la première étape d'itération.....	139
Figure 89 : Troisième étape d'itération du Très Grand Paris .....	140
Figure 90 : La zone Paris-Est. La zone d'Est Ensemble (en bleu) montre un net surplus de ménages .....	140
Figure 91 : Zones de développement et zones protégées en troisième étape d'itération.....	140
Tableau 15 .....	141
Figure 92 : modèle Très Grand Paris, reconfiguration en troisième étape.....	141
Tableau 16 .....	142
Figure 93 : Zones considérées en détail .....	142
Figure 94 : Première étape d'itération du projet Paris-Est .....	143
Figure 95 : Troisième étape d'itération.....	143
Tableau 17 .....	144
Tableau 18 .....	144
Tableau 19 .....	144
Tableau 20 .....	144
Figure 96 : le projet futur, première étape d'itération .....	145
Figure 97 : la localisation des commerces et services, tous les niveaux confondus .....	146
Figure 98 : Répartition des espaces verts existants selon leur niveau hiérarchique et la localisation des zones vertes ajoutées pour le scénario 3.....	146
Figure 99 : Zoom sur les projets d'espaces verts localisés au bord du canal de l'Ourcq et à Montreuil .....	147
Figure 100 : localisation des points d'accès aux espaces verts tous les niveaux confondus .....	147
Tableau 21 .....	148
Figure 101 : Les zones d'étude et le niveau 4 des commerces et services .....	148
Figure 102 : Le niveau 4 des espaces verts.....	149
Figure 103 : Les accessibilités au services/commerces niveau 4 (banaux).....	149
Figure 104 : Les accessibilités au services/commerces niveau 3.....	150
Figure 105 : Les accessibilités au services/commerces niveau 2.....	150
Figure 106 : Les accessibilités au services/commerces niveau 1.....	151
Figure 107 : accessibilité zone de loisir niveau 4 .....	151
Figure 108 : accessibilité zone de loisir niveau 3 .....	152
Figure 109 : accessibilité zone de loisir niveau 2 .....	152
Figure 110 : accessibilité zone de loisir niveau 1 .....	153
Tableau 22 .....	153
Tableau 23 .....	154
Figure 111 : Le niveau 4 des commerces et services .....	154
Figure 112 : Le niveau 4 des espaces verts.....	155
Figure 113 : Les accessibilités au services/commerces niveau 4 (banaux).....	155
Figure 114 : Les accessibilités au services/commerces niveau 3.....	156

Figure 115 : Les accessibilités au services/commerces niveau 2.....	156
Figure 116 : Les accessibilités au services/commerces niveau 1.....	157
Figure 117 : accessibilité zone de loisir niveau 4 .....	157
Figure 118 : accessibilité zone de loisir niveau 3.....	158
Figure 119 : accessibilité zone de loisir niveau 2.....	158
Figure 120 : accessibilité zone de loisir niveau 1.....	159
Tableau 24 .....	159
Tableau 25 : Typologie des agents pour Mobisim-SOFT.....	161
Tableau 26 : Motifs des déplacements et types d'activités .....	163
Figure 121 : Données de paramétrage de l'attractivité des aménités « Achats Quotidiens » pour les agents RETRAITE2.....	164
Figure 122 : Influence de la distance à parcourir sur le choix modal.....	165
Figure 123 : Zonage d'étude <b>fractalopolis</b> .....	166
Figure 124 : Répartition de la population actuelle d'Est-Ensemble (scénario s0), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE.....	167
Figure 125 : Répartition de la reconfiguration préconisée de la population d'Est-Ensemble selon une logique de concentration déconcentrée (scénario s2), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE.....	168
Figure 126 : Répartition de la population d'Est-Ensemble avec une logique de concentration déconcentrée et de croissance démographiques (scénario s3), représentée sur le carroyage à 200 m de l'INSEE.....	169
Figure 127 : Parts modales de la marche à pied, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite).....	169
Figure 128 : Parts modales des transports en commun, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite).....	170
Figure 129 : Parts modales des véhicules particuliers, en nombre de déplacements (gauche) et en kilomètres parcourus (droite).....	170
Figure 130 : Parts modales des transports en commun, sans le prolongement de la ligne 11 (gauche) et avec les nouvelles stations de la ligne 11 (droite).....	171
Figure 131 : Différence des parts modales transports en commun calculées avec le prolongement de la ligne 11 et sans .....	171
Tableau 27 : distances moyennes et durées moyennes par mode.....	172
Figure 132 : Distances parcourues en véhicules particuliers, ramenées au lieu de résidence, scénario s0 (situation initiale), droite, et répartition de la population (gauche).....	172
Figure 133 : Distances parcourues en véhicules particuliers, ramenées au lieu de résidence, scénario s2 (situation de concentration déconcentrée), droite, et répartition de la population (gauche).....	173
Tableau 28 : distances totales et durées totales par mode pour les scénarios s0 et s2.....	173
Figure 134 : Données de distribution d'énergie disponible sur la zone (source : data.gouv.fr) .....	175
Figure 135 : Potentiel de production solaire électrique, données de l'APUR agrégées sur les carreaux <b>fractalopolis</b> .....	176
Figure 136 : Proposition de réseau théorique de distribution à partir du maillage hiérarchique <b>fractalopolis</b> du territoire.....	177
Figure 137 : Proposition de réseau théorique de distribution à partir du maillage hiérarchique <b>fractalopolis</b> du territoire, avec un tracé qui suit la voirie .....	178

## 10. Annexes

---

### 10.1. ANNEXE 1

#### Changer nos excréments en or, c'est possible

De nombreux ouvrages et articles, s'adressant à des publics variés, traitent du compost et de l'art du compostage. Pour rédiger cette annexe, il était initialement prévu de tenter le délicat exercice de synthèse en vue de produire un texte « équilibré » qui reste accessible tout en évitant l'écueil d'un excès de simplification. Cependant, la découverte de *Un petit coin pour soulager la planète* — dont l'auteur, Christophe Elain, a parfaitement réussi cet exercice de « bonne vulgarisation » — nous évite ce travail. Le texte qui suit est très proche de certains passages de cet excellent ouvrage, dont nous reprenons, en particulier, quelques éléments issus de trois chapitres (intitulés respectivement *Le compost*, *Quels ajouts ?* et *Séparation des urines et des matières fécales*) en les résumant par endroits, en les complétant (rarement) et en les organisant différemment.

Dans les neuf brefs paragraphes qui suivent, les six premiers sont valables pour toute matière organique, y compris les excréments, auxquels sont plus spécialement consacrés les trois derniers paragraphes qui en soulignent certaines spécificités.

#### 1.- L'art du compostage

L'objet du compostage est de reproduire un phénomène naturel mais de manière (plus ou moins) contrôlée et (plus ou moins) accélérée. C'est un procédé biologique aérobie<sup>106</sup> généralement considéré comme une fermentation (car certaines réactions sont de type fermentaire). Il permet la transformation de matières organiques en un amendement stabilisé riche en humus, ou, tout au moins, en un produit plus stable. Le mot « compost » désigne tout autant le tas en fermentation que le produit final obtenu. Le compost est utilisé pour **amender** et **fertiliser** le sol, c'est-à-dire améliorer la structure de celui-ci, augmenter sa capacité à retenir l'eau et à fournir aux plantes les éléments nutritifs nécessaires à leur développement. Certains de ces éléments vont se rendre immédiatement disponibles pour les plantes, mais pour la majorité d'entre eux c'est progressivement et à petites doses qu'ils seront libérés, assurant de la sorte une alimentation équilibrée aux plantes. C'est cette **stabilité** et cette **minéralisation progressive** qui permet **d'éviter, ou au moins de minimiser les pertes et pollutions si fréquentes dans le cas d'utilisation d'engrais chimiques**.

Dans un compost, les acteurs principaux intervenant au cours des différentes transformations sont, plus ou moins nombreux selon les cas, des **micro-organismes** tels que bactéries, champignons, actinomycètes (organismes intermédiaires entre bactéries et champignons), et des **macro-organismes** tels que vers de fumier et insectes variés, acariens, etc. L'art du compostage consiste à **procurer les conditions favorables** au développement des organismes actifs dans ce processus, cela pour amener à la meilleure fermentation possible.

Les principaux facteurs influant sur le résultat obtenu — le *rapport carbone/azote* des matières organiques présentes, *l'aération*, *l'humidité*, *la température* et *l'acidité* — nécessitent chacun un bref développement.

#### 2.- « La terre »

Les micro-organismes se nourrissent de la **matière organique** mise à leur disposition et en tirent les éléments nécessaires à la formation de leurs cellules : **azote (N)**, **carbone (C)**, phosphore (P), etc. Cependant, c'est surtout le carbone, principal composant de la matière organique, qui est utilisé comme source d'énergie par les micro-organismes. Il leur en faut donc beaucoup : environ 30 fois plus que d'azote. Chaque type de matière organique jouit d'une proportion carbone/azote — ou **rapport C/N** — qui lui est propre. Pour que le compostage se déroule de manière idéale, il faut donc essayer de réunir dans le compost des matériaux qui, à eux tous, tendent vers un rapport C/N situé aux alentours de 30. « A eux tous », car le carbone d'un de ces matériaux viendra pallier son absence chez un autre, et ce dernier, riche en azote, apportera cet élément peu disponible chez le premier. Ils doivent être bien mélangés pour former un ensemble aussi homogène que possible et permettre ainsi une transformation à peu près identique dans tout le compost. Point n'est cependant besoin d'accorder une importance démesurée à cette valeur idéale de 30, car le compostage se déroule généralement avec un rapport C/N situé entre 25 et 50, pour un résultat qui peut être assez semblable. Cela est lié (entre autres) à la vitesse à laquelle les molécules organiques se dégradent (avec un taux d'azote identique, la libération de cet élément ne se fera pas au même rythme selon qu'il est dans un matériau vert et tendre comme l'herbe ou dans un matériau dur et ligneux comme le bois).

Si l'azote n'est pas présent en quantité suffisante, les micro-organisme vont manquer de cet élément nécessaire à leur développement et le processus sera ralenti ; à l'inverse, en cas d'excès d'azote, celui-ci va se perdre (par exemple, un mélange

---

106 se dit d'un organisme ayant besoin d'air pour se développer ou d'un processus ne se produisant qu'en présence d'oxygène (décomposition aérobie).

de matières organiques présentant un rapport C/N de 20 peut perdre plus du tiers de son azote) sous forme de nitrates lessivés ou être dégagé sous forme (notamment) d'ammoniac, toxique pour la plupart des organismes du compost.

### 3.- « L'air »

Les bactéries dites aérobies ont — comme leur dénomination l'indique — besoin d'oxygène pour vivre, se multiplier et transformer les matières organiques ; une bonne **aération** leur est donc vitale. Une texture ouverte et accessible à l'air est obtenue grâce à des matériaux plutôt grossiers, secs granuleux ou fibreux. Idéalement, les espaces permettant la circulation de l'air doivent représenter environ un tiers du tas.

### 4.- « L'eau »

Les organismes vivant dans le compost en ont besoin, le taux d'**humidité** optimal étant de l'ordre de 50 à 60 % : un excès d'eau réduit la place disponible pour l'air et ralentit ou stoppe le processus ; mêmes conséquences si l'humidité est insuffisante (inférieure à 30 %).

### 5.- « Le feu »

En termes de **température**, l'idéal varie selon les phases et les objectifs visés (rendre hygiénique le tas, désir d'obtenir une dégradation des matières organiques rapidement ou non, transformation de celles-ci en humus). Ce dont on est sûr, c'est que les bactéries intervenant au départ (les mésophiles) ne sont vraiment actives que sous l'effet de la chaleur, l'optimum étant compris entre 30 et 45°C (une autre catégorie de bactéries à l'œuvre, les thermophiles, visent plutôt 60°C). L'élévation de température est due en grande partie à la chaleur qui se dégage pendant la dégradation (provoquée par les micro-organismes) des chaînes carbonées de la matière organique. Parmi les autres agents qui influent également sur la température du compost, signalons la nature des matériaux à composter, l'isolation, la température extérieure et, pour une part importante le **volume** du tas.

Au sens figuré, le « feu » peut désigner aussi l'**acidité**, qui influe sur le développement des micro-organismes. Au cours du processus, le compost commence par s'acidifier (pH < 7) avant de se rapprocher de la neutralité (pH = 7) au fur et à mesure de la maturation, le pH final se situant ordinairement autour de 7,5. Cette valeur correspond à un optimum souhaité, mais les conditions sont encore considérées comme bonnes si elle est comprise entre 6 et 8. Si tel n'est pas le cas, les **champignons**, qui présentent une tolérance supérieure, prennent le relais quand le terrain devient trop défavorable aux bactéries. Mais en général, un compost qui évolue bien n'a pas besoin de notre intervention pour réguler son acidité.

### 6.- « Le temps »

En plus des quatre « éléments » précédents, il faut du temps. Plusieurs phases peuvent être distinguées.

Par leur production d'enzymes, les bactéries attaquent rapidement les matières organiques rassemblées dans le compost. Au cours de cette première phase ce sont les matériaux les plus fermentescibles qui se décomposent : épiluchures de fruits et de légumes, « mauvaises herbes », tontes de gazon, tous les matériaux plutôt verts, mous et humides, riches en azote. Ensuite, les matériaux plus coriaces sont à leur tour investis. Plus la surface offerte aux organismes décomposeurs est grande, plus leur activité et leur efficacité sont importantes, d'où l'intérêt de broyer en petites particules les matériaux grossiers et secs. Il ne faut pas pour autant les réduire à une taille microscopique qui les ferait s'agglomérer et ne permettrait plus à l'air de circuler.

Si la matière organique est disponible, l'oxygène abondant et les autres conditions favorables, les bactéries assaillent les matériaux et se multiplient à profusion. Au cours de cette **phase dite mésophile**, leur activité de dégradation provoque une montée progressive de la température et produit un dégagement de vapeur d'eau et de gaz carbonique. Du fait de la perte de structure de la matière et du tassement provoqué par la densité accrue, le **volume** du tas **diminue**.

A cette phase mésophile peut succéder, si les conditions sont favorables, la **phase thermophile**, durant laquelle la température monte jusqu'à 60°C, voire plus dans certains cas. Cette dernière phase, si elle est suffisamment longue, permet la **destruction** de la quasi totalité des **germes pathogènes**. Une température trop élevée (supérieure à 70°C) est néanmoins à éviter car elle peut détruire l'ensemble de la vie biologique du compost et le rendre stérile. Mais les risques que cela arrive sont très faibles car, sauf cas particulier, seul un volume de plusieurs dizaines de mètres cubes permet d'atteindre ces très hautes températures.

Après plusieurs semaines, l'activité bactérienne se réduit en même temps que disparaissent les matières tendres dont les bactéries se nourrissent. La température s'en trouve diminuée, ce qui amène progressivement la **phase de refroidissement/maturation** durant laquelle se développent des **champignons** et des **actinomycètes**. Ces derniers se chargent des composés plus résistants, comme la cellulose et la lignine. A ce stade surviennent les **macro-organismes** : vers rouges de fumier, collemboles, cloportes, etc. Par leur déchiquetage de ce qui reste à digérer, par l'aération qu'ils procurent, par le mouvement qu'ils donnent au tas, ils réalisent — *via* leur appareil digestif — un mélange et une transformation des différents composés. La température se stabilise peu à peu légèrement au-dessus de la température ambiante, laissant mûrir

le compost. Une partie de celui-ci se retrouve sous forme d'**éléments minéraux** tandis que d'autres composants vont se recombinaison pour former l'**humus**.

### 7.- « Transformer nos excréments ... »

Parmi les toilettes sèches dont le but est de valoriser les excréments par le biais du compost, deux cas de figure peuvent, en première approximation, être distingués, selon que le processus de compostage se produit directement sous le siège des toilettes (chambre de compostage) ou pas (réceptacle provisoire vidé une fois plein).

Quelle que soit l'option, les précautions à prendre relèvent du simple respect des règles évoquées dans les cinq paragraphes précédents :

« *La terre* » — Le rapport C/N des matières fécales est de l'ordre de 8, celui de l'urine 0,8. Le mélange des deux donne une valeur comprise entre 5 et 6. Pour se rapprocher du rapport idéal de 30, il est donc nécessaire d'**ajouter un élément riche en carbone** : terre sèche, sciure, copeaux de bois, déchets végétaux secs (paille, feuilles mortes, foin,...), broyats de branchages et d'écorce, carton déchiqueté, papier hygiénique (évidemment),... la liste est longue et l'expérience prouve que c'est un mélange de plusieurs de ces matériaux (et d'autres) qui donne les meilleurs résultats. L'important à retenir est que **les excréments ne sont qu'une composante parmi d'autres** du compost, mais qu'en général, la **disponibilité locale des autres composants n'est pas un problème** (surtout eu égard à la variété des possibilités).

« *L'air* » — L'accumulation des excréments a tendance à constituer une masse compacte, très peu aérée, ne présentant donc pas les conditions idéales au bon déroulement du compostage. C'est l'ajout des éléments carbonés (cf. plus haut) qui permet au processus de rester aérobie. Parallèlement, il existe un vaste choix d'aménagements techniques (selon l'endroit où se produit le compostage) pour accentuer l'aération.

« *L'eau* » — S'il n'y a pas séparation des liquides et des solides et que l'on procède à l'ajout d'un matériau carboné, la teneur en eau de l'urine doit permettre d'arriver à peu près au taux d'humidité optimal, même si le complément est très sec. A l'inverse, il n'y a normalement pas trop à craindre l'excès d'humidité car l'ajout carboné absorbe les liquides et peut donc être ajusté en fonction des besoins. Pour plus de sécurité, une couche dans le fond (15 à 30 cm, davantage si nécessaire) de cet ajout permet d'éviter les inconvénients résultant de fuites de liquides excédentaires. En cas de quantités vraiment importantes, divers dispositifs complémentaires peuvent être prévus, notamment l'évacuation (tuyau de drainage, par exemple) et l'évaporation (ce qui nécessite des dispositifs consommateurs d'énergie). Le risque est inverse si l'urine est séparée des matières fécales, puisque l'humidité risque d'être insuffisante, auquel cas une humidification peut s'avérer nécessaire (divers dispositifs plus ou moins sophistiqués peuvent être mis en œuvre à cette fin).

« *Le feu* » — Dans le cas d'un compost élaboré en continu (ajouts progressifs), la température est un paramètre difficile à maîtriser. En cas de chute de température, le retournement physique pour oxygéner le tas et relancer la fermentation est préconisé par certains, alors que d'autres le déconseillent en raison de la perte d'éléments nutritifs que cela occasionnerait. Il est à peu près impossible d'avoir un avis tranché sur cette question car les conditions sont rarement les mêmes d'un tas à l'autre. En revanche, dans les cas où l'ensemble est comprimé, ne chauffe pas du tout et qu'aucune transformation ne semble se produire, le brassage est nécessaire pour relancer le processus.

« *Le temps* » (... et l'espace) — Un compost est considéré comme mûr lorsque ses constituants ne sont plus susceptibles de fermenter. Dans un compost bien contrôlé la maturité peut être atteinte en cinq à six mois. Mais le délai peut être plus long, selon les matériaux ajoutés et les conditions. De manière générale, moins le compost chauffe, plus il faut lui donner le temps. Faute d'avoir la certitude que tout le compost a chauffé suffisamment et dans toutes ses parties, il faut se reposer sur les vertus de la durée qui garantissent l'obtention d'un compost exempt d'organismes pathogènes. En cas de compost n'ayant pas bénéficié d'un contrôle rigoureux tout au long du processus, il est donc recommandé d'attendre, avant l'utilisation, au minimum un an. Le laboratoire *Woods End Agricultural Institute* (Etats-Unis), spécialisé dans les analyses du compost, montre le **caractère hygiénique de composts d'excréments humains âgés de deux ans**.

La conséquence en termes d'espace pour le non spécialiste possédant un jardin (même réduit) est la nécessité de prévoir trois cases : la première se remplit pendant un an, puis le mélange est laissé à composter ; on vide alors la case remplie deux ans auparavant et c'est celle-là que l'on remplit à nouveau. Et ainsi de suite. En opérant de la sorte, il faut compter 1 m<sup>2</sup> à 1,5 m<sup>2</sup> au sol par case pour obtenir une capacité suffisante pour une famille de quatre personnes. L'ordre de grandeur à retenir est que la surface requise pour la transformation « en amateur » d'excréments en compost est de **1 m<sup>2</sup> par personne** (on peut noter qu'à la fin du compostage, le tas a **perdu les deux tiers de son volume**).

Ajoutons que lorsque le compost est élaboré en continu, il est important de respecter les stades du processus en incorporant tout nouveau apport de matières fraîches aux seules couches supérieures du tas, ce qui évite en particulier une montée en température dans les couches déjà plus anciennes où sont présents divers organismes de la phase de maturation qui pourraient ne pas survivre, par exemple les vers.

A ce propos, signalons que la technique du **lombricompostage**, qui vise à réduire le temps de la transformation, consiste à essayer de créer des conditions telles (humidité, température, pH,...) que les « vers rouges de fumier » (*Eisenia fetida*) soient les principaux acteurs du compostage (alors que dans un compost classique, les vers poursuivent « seulement » le travail déjà

bien entamé par les microorganismes). Il est vrai que cette espèce s'attaque à quasiment tous les types de matières organiques (sauf celles qui sont trop difficilement biodégradables) et que faute de mieux, ils savent se contenter de fèces en plat unique, ce qui présente l'avantage de ne pas rendre indispensable l'ajout de matières carbonées. Le lombricompostage ne peut néanmoins pas être mis en œuvre dans tous les cas de figure. Ainsi, dans les composts issus de la technique de collecte non séparative (urines et matières fécales mélangées), l'importante quantité d'azote présente dans l'urine peut se dégager sous forme d'ammoniac et s'ajoute à une forte teneur en chlorure de sodium, l'un et l'autre étant nocifs pour les vers. Par ailleurs, ces derniers ne s'attaquant que très peu aux matières fécales fraîches, un vieillissement de ces dernières durant une période de six mois est recommandé avant de les leur offrir en pâture, ce qui implique des configurations spatiales (toilettes, installations) suffisamment grandes pour contenir la production de plus d'une demi-année.

#### 8.- « ... sans inconvénient majeur... »

Lorsqu'il est question de compost d'origine humaine, divers problèmes (à caractère dissuasif, voire réhibitoire) sont souvent mis en avant. Cependant, aucun d'entre eux n'est de nature à susciter l'inquiétude, et tous trouvent des réponses simples. En voici quelques uns (la liste n'est pas exhaustive).

*Antibiotiques* — Des tests ont été effectués par le département de microbiologie à l'Université d'agriculture de Norvège à propos des problèmes que pourraient entraîner, pour le déroulement du compostage, les excréments de personnes sous traitement antibiotique. Les résultats ont montré que cela n'amène pas de perturbation importante ou durable dans le compost.

*Résidus médicamenteux* — Les travaux de chercheurs suisses de l'institut Eawag de Zürich (De Looze, 2018) ayant étudié les résidus dans les urines de personnes sous médicaments (anti-inflammatoires, entre autres) et/ou prenant la pilule ont montré que le procédé naturel de dégradation de l'urine dégradait également 90% de la plupart des résidus médicamenteux et qu'un filtre à charbon actif éliminait le reste. Or le compost mûr se comportant comme du charbon actif, c'est le produit lui-même du processus de compostage qui dégrade les 10% restants de résidus médicamenteux.

*Pollutions par écoulement* — Le ruissellement de liquides peut être source de pollution, mais les remèdes sont simples (cf. « L'eau ») ; si c'est l'option du tuyau de drainage qui est retenue, le lixiviat récupéré peut être reversé... sur un tas en cours de compostage.

*Pollutions par les animaux* — Les visiteurs indésirables (chiens, oiseaux, mouches,...) d'un tas en cours de compostage peuvent se faire les vecteurs de germes pathogènes potentiellement contenus dans les matières qui se collent à leur corps. Les dispositifs pour lutter contre ce genre de problèmes sont variés et généralement simples (divers types de barrières contre rôdeurs et insectes, pièges à mouches, insecticides naturels,...).

*Odeurs* — Sans entrer dans le détail<sup>107</sup>, des précautions simples permettent d'éliminer cette nuisance. Par exemple, si les urines et les matières fécales sont mélangées, le développement des odeurs eut être maîtrisé grâce à l'ajout de certaines matières carbonées (notamment la sciure).

#### 9.- « ... en or ! »

Diverses analyses montrent que le compost obtenu à partir d'excréments humains est généralement de bonne qualité, équivalent ou même supérieur à bon nombre de fumiers d'animaux. Michel Mustin, auteur du livre *Le compost*, indique que sa composition le rend parfois comparable à un engrais organique puissant. Renaud de Looze, auteur de *L'urine, de l'or liquide au jardin* va d'ailleurs jusqu'à utiliser, pour désigner ce compost, l'expression « **or noir** », complémentaire à cet « or liquide » qu'est l'urine et, bien entendu à l'indispensable (et de plus en plus rare) « or bleu » — l'eau.

---

107 Cf. Elain, 2007, pp. 150-153

## 10.2. ANNEXE 2

### Enquête réalisée à Est-Ensemble (printemps-été 2020)

#### 1.- Guide d'entretien

Liste indicative de questions susceptibles d'être posées durant l'entretien en vue de lancer (éventuellement relancer) le dialogue. Les questions varient en fonction de l'interlocuteur. Les deux cas de figure initialement prévus étaient les responsables d'associations impliquées dans des activités en lien avec l'agriculture urbaine, d'une part, les collectivités, d'autre part.

##### *Associations impliquées dans des activités en lien avec l'agriculture urbaine*

- Pouvez-vous décrire en quelques mots l'activité (domaines d'activité) de votre association ?
- Dans le cadre de votre association, puisque l'agriculture urbaine figure en bonne place parmi vos activités, comment pratiquez-vous la fertilisation des sols ?
- Avez-vous (ou certains de vos membres ont-ils) envisagé / pensé à / évoqué / discuté / expérimenté / commencé à pratiquer la fertilisation à l'aide des « déchets humains » : urines / fèces (matières fécales) ?
- Si oui, pouvez-vous faire un retour de vos expériences / réflexions ?
- Si non, cette thématique vous semble-t-elle intéressante / dangereuse / indifférente / ...
- Quels obstacles voyez-vous ?
- Le manque d'information / de retours sur des expériences étrangères fait-il partie de ces obstacles ?
- Seriez-vous prêts à vous y intéresser sérieusement / expérimenter /...

##### *Collectivités*

- Quels sont les : pouvoirs de décision et d'action / domaines de compétences / marges de manœuvre / des collectivités dans ce domaine ?
- Quels obstacles voyez-vous à la mise en place de telles pratiques sur le territoire d'Est Ensemble ?
- A ma connaissance, la législation ne permet pas à ce jour d'utiliser l'urine pour la production de comestibles (tant que l'urine sera classée « déchet » et non pas « produit »). Seriez-vous malgré cela favorable à une expérimentation (limitée et contrôlée), selon des protocoles à définir ?
- Auriez-vous des idées de pistes (à l'échelle locale) qui pourraient être tentées pour faire évoluer les choses ?
- Parmi ces pistes, pensez-vous qu'une manière de faire serait de se lancer de manière empirique, c'est-à-dire par exemple d'envisager l'autorisation d'expérimenter sur le terrain par des associations, des agriculteurs urbains, des microfermes ?

#### 2.- Entretiens « associations »

Liste des acteurs associatifs auxquels a été adressée une demande d'entretien :

- A1 - Activille (Bobigny) : Karl Hospice, kh@activille.org
- A2 - Sens de l'Humus (Montreuil) : Christophe Bichon : christophe.humus@gmail.com / contact@lesensdelhumus.org
- A3 - Ferme urbaine de l'association On sème tous (Montreuil) : Jean-Roch Bonin, bonjr@me.com / contact@onsetmetous.com
- A4 - Veni Verdi (Paris / Bondy) : Nadine Lahoud, admin@veniverdi.fr / Arthur de Thomasson, arthur.dethomasson@veniverdi.fr
- A5 - Paysan Urbain (anciennement Romainville, maintenant à Paris) : Gérard Munier ,gerard@lepaysanurbain.fr / contact@lepaysanurbain.fr
- A6 - Terres Urbaines (Drancy) : Jordan Bonaty, jordan.bonaty@terresurbaines.org
- A7 - Halage (Ile-Saint-Denis – Plaine commune, porte le projet Lil'O, projet de réhabilitation d'une ancienne friche industrielle en espace exemplaire de biodiversité dans le cadre d'un projet d'extension du parc départemental de la Seine-Saint-denis) : Yves-Marie Davenel, yvesmarie.davenel@halage.fr

Sont retranscrits ci-dessous, sous forme résumée, les « bilans d'entretiens » (éléments significatifs) avec les interlocuteurs ayant répondu favorablement à ma demande.

A1 - *Activille (Bobigny), Karl Hospice, bilan de l'entretien du 24/06/20*

M. Hospice évoque une grande variété d'activités dans le cadre de l'association ; la collecte de certains déchets sur Bobigny et leur **compostage** est au nombre de ces activités.

Compte tenu du contexte de leur site où il n'y a ni électricité, ni eau, ils ont installé des **toilettes sèches** en 2019 (c'est donc tout récent) et, dans la mesure où ces toilettes sont très peu utilisées, il n'y a pas encore eu besoin de « vidanger » ni de procéder à un « traitement ». Pour l'instant, **pas de projet de réutilisation des matières fécales en compostage**.

Cela dit, au sein de l'association, **la question est souvent évoquée** de manière informelle au cours de certaines réunions.

Le principal obstacle pour « franchir le pas » est la **méconnaissance** : ils seraient **très demandeurs d'information sur ces pratiques**, mais également de **suivi**, s'ils décidaient de se lancer.

En tout cas, si l'information leur était donnée (j'ai d'ailleurs été très cordialement invité pour leur parler des expériences existantes : « *nos portes vous sont grandes ouvertes !* ») et si une **collaboration avec un laboratoire pour assurer le suivi sanitaire** était mise en place, ils seraient tout à fait prêts à utiliser une partie du site de cultures pour une expérimentation. A cet égard, la question de la **formation de la population** à ces pratiques a été évoquée durant l'entretien.

A2 - *Sens de l'Humus (Montreuil), Christophe Bichon, bilan de l'entretien du 09/07/2020*

Les activités de l'association sont nombreuses (cf. le site <https://senshumus.org/> ). Parmi ces activités, le **compostage en milieu urbain tient une place importante** : sur les 7 salariés de l'association, 3 sont dédiés au compostage. Cette activité dépasse largement le territoire d'Est-Ensemble, puisque la collecte des matières à composter se fait sur tout le département 93 (une cinquantaine de sites), auprès de copropriétés, de collèges, de crèches, d'EPAD, etc.

Sur le territoire d'Est-Ensemble, ils sont les seuls à pratiquer **compostage de déchets humains (matières fécales)**, depuis quelques années, mais l'utilisation des toilettes sèches (seau vidé dans un conteneur, une fois plein), installées sur le site de l'association (sans séparation d'urine) reste **limitée aux seuls membres de l'association** (20 bénévoles et 7 salariés) et aux personnes participant aux événements épisodiquement organisés par l'association. Pour donner un ordre de grandeur, cela représente un volume compris entre 1000 et 2000 litres par an. Ils ont 5 bacs de 1000 litres qui, une fois remplis, sont fermés, et laissés pendant au moins 2 ans, au bout desquels **le compost est utilisé en paillage pour des arbustes**. Des menuisiers leurs fournissent (bénévolement) sciure et copeaux pour les apports carbonés. Ils n'envisagent pas d'élargir cette activité, car dans la situation actuelle, la pratique des toilettes sèches n'existe pas sur le territoire (peut-être chez certains particuliers seulement) et donc une collecte à l'échelle du territoire ou d'un quartier est sans objet.

M. Bichon a évoqué l'entreprise *Les Gandousiers* (cf. Entretiens « entreprises »), spécialisée dans l'événementiel sur tout le territoire français : lors de grands événements (milliers, voire dizaines de milliers de participants), cette entreprise installe des modules (esthétiques — en bois, et hygiéniques — sans odeurs), avec séparation d'urine (récupérée par exemple dans des bottes de paille), ce qui permet de récupérer de grandes quantités de matières. Le problème est le stockage. Pendant un temps, l'association *Le Sens de l'Humus* mettait à la disposition de l'entreprise une partie de leur site (contre rémunération) pour le stockage. Mais des gens du voyage qui occupaient des terrains jouxtant le site s'étaient plaints des nuisances olfactives, et cette pratique a été abandonnée. A la connaissance de M. Bichon, l'entreprise *Les Gandousiers* a passé un accord avec un agriculteur du 77 pour utiliser les matières collectées comme fertilisant.

Selon M. Bichon, il subsiste encore énormément d'obstacles culturels à ce genre de pratiques.

A3 - *On sème tous (Montreuil), Jean-Roch Bonin, bilan de l'entretien du 25/06/2020*

Conscient du fait « qu'il faut revenir au bon sens », M. Bonin a créé l'association *On sème tous* à Montreuil, en ayant en tête un projet de ferme urbaine, avec **l'intention** d'œuvrer conjointement sur la rénovation des bâtiments conçus pour une meilleure gestion des ressources : **récupération des eaux de pluie et gestion des déchets, y compris déchets humain, avec l'idée d'une petite centrale de méthanisation**. En attendant, il a déposé, avec l'aide d'Est Ensemble et du LAB3S, la demande, dans le cadre du NPNRU (Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain), la demande de création de cette micro-ferme à Montreuil (c'est en fait Est-Ensemble qui a déposé le projet, mais il est convenu que c'est l'association *On sème tous* qui va gérer). Le projet de cette micro-ferme doit se concrétiser en 2021. Les intentions de M. Bonin sont donc ambitieuses et il est conscient du fait que les **collaborations de tous ordres** (entreprises, laboratoires de recherche) sont primordiales pour que les choses bougent. En lien avec d'autres associations (dont *Mur à Pêches* : <https://mursapeches.blog/>), il travaille au développement de l'idée de la résilience alimentaire, et avec cette même association (en lien également avec LAB3S), il souhaite développer un projet de création d'un laboratoire travaillant sur la dépollution des sols.

Sa motivation ne fait aucun doute et il m'a invité à le rencontrer pour poursuivre la discussion. Il fait partie de ces acteurs qui **contribuent à développer la dynamique autour de ces questions sur le territoire d'Est Ensemble**. Une expérience en gestation dont l'évolution est à suivre de près.

A4 – *Veni Verdi (Montreuil), Arthur de Thomasson, bilan de l'entretien du 22/06/2020*



Veni Verdi est une association qui se donne pour but de créer des jardins en milieu urbain. Ils aident à monter des projets d'agriculture urbaine, essentiellement sur des sites scolaires. Ces sites sont situés dans Paris intramuros (par exemple, le Collège Pailleron dans le 19<sup>e</sup> arrondissement), mais ils sont en train de former une personne qui va prochainement prendre en charge une microferme en cours d'installation sur le campus de l'IRD à Bondy.<sup>108</sup>

Ils s'intéressent aux activités de production et de transformation, s'insérant dans une démarche de « *localisme dans le bon sens du terme* ».

Pour l'instant, ils n'ont pas réfléchi à la question de la valorisation des urines et fèces, en raison d'un déficit d'information et de pas mal d'*a priori* sur les problèmes sanitaires. Il faut dire que la législation française n'aide pas : **tant que l'urine aura le statut de déchet et non pas de ressource, cette pratique sera difficile à mettre en place.**

Mais mon interlocuteur est très ouvert et très curieux de tout élément d'information sur cette thématique (il m'a demandé de lui fournir une bibliographie). Il considère qu'il s'agit d'une vraie question devant être traitée avec sérieux : outre le besoin d'un **suivi des expérimentations par un laboratoire** (afin d'éviter tout risque sanitaire), il met en avant la **nécessité d'un travail pédagogique** auprès de la population, pour « *qu'un nouveau regard soit porté sur pas mal de choses* ». Dans le cadre des activités de l'association, il travaille beaucoup **sur les sites scolaires** où il rencontre des enfants ayant ancrées en eux des idées telles que : « mauvaises herbes », « la terre sur les mains, c'est sale », sans même parler du « pipi » et « caca » qui compte parmi les pires déchets. Pour sa part, et dans la mesure où l'association travaille déjà sur le recyclage, il serait ouvert à l'idée d'une expérimentation avec les excreta.

*A5 - Paysan Urbain (Romainville/Paris), Gérard Munier, bilan de l'entretien du 23/06/2020*

Initialement à Romainville, sur le territoire d'Est-Ensemble, l'association est désormais située dans le 20<sup>e</sup> arrondissement de Paris.

M. Munier souhaiterait avoir un démonstrateur de ces pratiques, un site d'expérimentation qui fasse pousser des légumes fertilisés de cette manière, avec un laboratoire derrière qui fasse des analyses pour vérifier si les légumes ainsi cultivés sont propres à la consommation. Ayant lu que cela se pratique en Suisse, il se déclare être fortement demandeur de telles expériences et serait prêt à les mener (il m'a d'ailleurs demandé si je ne pourrais pas l'orienter vers un laboratoire qui collaborerait avec lui).

*A7 - Halage (Ile-Saint-Denis/Plaine commune), Yves-Marie Davenel, courriel du 22/06/2020*

L'association porte le projet Lil'O, projet de réhabilitation d'une ancienne friche industrielle en espace exemplaire de biodiversité dans le cadre d'un projet d'extension du parc départemental de la Seine-Saint-Denis. Courriel de Yves-Marie Davenel, coordinateur du projet Lil'O :

« *Bonjour, Je vous remercie de votre message. De notre côté, nous ne travaillons pas sur le recyclage des déchets humains. Les Alchimistes ont une expérimentation en cours sur le recyclage des couches. Je vous invite à contacter directement Alexandre Guilly, président des Alchimistes au alexandre@alchimistes.co* ».

### 3.- Entretiens « collectivités »

Compte tenu du contexte de l'étude, la « collectivité territoriale » pertinente est la communauté d'agglomération (donc un *groupement* de collectivités territoriales), établissement public administré, depuis sa création en 2016, par un conseil de territoire composé de 80 élus (renouvelé en juin 2020). Le service vers lequel j'ai été orienté est la *Direction de l'environnement et de l'écologie urbaine Est Ensemble* où deux interlocutrices ont été sollicitées :

- Delphine Gemon, responsable pôle Approche Environnementale de l'Aménagement : delphine.gemon@est-ensemble.fr
- Leslie Petitjean, chargée de mission économie circulaire : Leslie.PETITJEAN@est-ensemble.fr

Les entretiens ont finalement pris la forme d'une seule « téléconférence » à trois, dont les éléments significatifs sont retranscrits ci-dessous sous forme résumée.

*C1/2 - Direction de l'environnement et de l'écologie urbaine Est Ensemble, Delphine Gemon et Leslie Petitjean, bilan des échanges par courriel et de l'entretien du 23/06/2020*

Notre échange commence par la communication d'informations relatives à des interlocuteurs qu'il serait intéressant d'intégrer à l'étude.

---

<sup>108</sup> sur le territoire d'Est-Ensemble ( <https://www.lab3s.fr/post/ouverture-d-un-jardin-p%C3%A9dagogique-et-exp%C3%A9rimental-%C3%A0-bondy-quartier-la-noue-caillet> ).

D'une part, des entreprises impliquées dans la valorisation des bio déchets et le compostage : *Moulinot*, une Entreprise Sociale et Solidaire spécialiste de la gestion des déchets alimentaires en Île-de-France ; *Les Gandousiers*, prestataire de toilettes sèches sur les événements et les chantiers (qui « *pourrait être un acteur intéressant à intégrer dans le cadre d'une expérimentation pour fournir la "matière première"* » ; *Les Alchimistes*, une entreprise expérimentant, entre autres, le recyclage des couches culottes des crèches par compostage (Est-Ensemble a d'ailleurs mis à disposition de cette entreprise une friche industrielle).

D'autre part, des acteurs du « *programme de recherche OCAP (Programme de recherche & action sur les systèmes alimentation/excrétion urbains et la séparation à la source des eaux usées)*, porté depuis 2015 par le laboratoire Eau, Environnement et Systèmes urbains (LEESU) - laboratoire commun de l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil et AgroParisTech : <https://www.leesu.fr/ocapi/presentation/> ».

Mes interlocutrices évoquent également leurs collègues de la DPVD (Direction de la prévention et de la valorisation des déchets), ainsi que les Maîtres composteurs, en copie de nos échanges ; cela a conduit, par la suite, à la communication d'un complément d'information sur les structures spécialisées sur la question du compost de toilettes sèches : sur le plan national, c'est le Réseau d'Assainissement Ecologique (RAE) qui regroupe toutes les informations sur la question ; sur le territoire d'Est-Ensemble, l'association *Sens de l'Humus* pratique le compostage de toilettes sèches et utilise le compost obtenu dans leur jardin pour la production de fleurs.

Tout au long de l'entretien, le propos dénote une position procédant d'une logique « d'accompagnement » : si des pratiques de ce type doivent se mettre en place sur le territoire d'Est-Ensemble, **l'initiative doit venir des acteurs associatifs**. L'accent est mis également sur la nécessité **d'asseoir toute expérimentation dans ce domaine sur un laboratoire de recherche**, ceci en vue **d'obtenir une dérogation à la législation en place qui, pour l'instant, n'autorise pas ces pratiques**.

#### 4.- Entretiens « entreprises »

Liste des entreprises auxquelles a été adressée une demande d'entretien :

- E1 - Les Alchimistes (<https://alchimistes.co/>, <https://alchimistes.co/notre-concept/>) : Maiwenn Mollet, maiwenn@alchimistes.co / "alexandre" alexandre@alchimistes.co
- E2 - Les Gandousiers (prestataire de toilettes sèches sur les événements et les chantiers, <https://www.gandousiers.com/>) : "philippe" philippe@gandousiers.com
- E3 - Moulinot (Entreprise Sociale et Solidaire spécialiste de la gestion des déchets alimentaires en Île-de-France, <https://www.moulinot.fr/site/>) : Stephan Martinez, smartinez@moulinot.fr

Sont retranscrits ci-dessous, sous forme résumée, les « bilans d'entretiens » (éléments significatifs) avec les interlocuteurs ayant répondu favorablement à ma demande.

##### *E1 – Les Alchimistes, Maiwenn Mollet, bilan de l'entretien du 26/06/2020*

M. Mollet pilote le projet Couches Fertiles chez Les Alchimistes, une entreprise créée il y a trois ans et qui développe deux types d'activités :

1) Le compostage des déchets alimentaires (avec collecte auprès de restaurants et de cantines, notamment) et leur compostage industriel à l'Île-Saint-Denis (un site en dehors du territoire d'Est-Ensemble, mais néanmoins assez proche), plus récemment, avec la création de deux nouveaux sites, à Stains et à Chilly-Mazarin. Cette activité représente le cœur de métier, à l'échelle industrielle, avec la commercialisation du compost. L'idée sous jacente est de créer des sites de compostage au plus près des villes pour limiter les distances de transport (proximité entre ressource et traitement) et favoriser l'économie circulaire à l'échelle locale.

2) Une activité d'expérimentation et de recherche autour du **recyclage des couches culottes des crèches**. Il faut savoir qu'en France, il y a 3,5 milliards de couches culottes par an (10 millions par jour) qui partent dans les poubelles pour être, pour l'essentiel incinérées, avec tous les problèmes afférents de transport (souvent à distance), d'énergie de combustion et de pollution. Or une couche culotte classique comporte 75% de cellulose et d'excréments, donc de matière compostable (évidemment, cela pose surtout la question des 25% qui restent, notamment des plastiques). Le « terrain de jeu » pour cette expérimentation sont cinq crèches parisiennes qui fournissent les couches usagées, qui sont ensuite compostées sur l'Île Saint Denis. Il est prévu de se lancer aussi dans le recyclage des couches pour adultes, mais on craint le problème des résidus médicamenteux importants. Il s'agit donc d'une **expérience en cours, menée en collaboration avec deux laboratoires** : APESA à Pau (<https://www.apesa.fr/> qui travaille, entre autres, sur la méthanisation des déchets, le compostage, l'économie circulaire, etc), et ISA (Institut des Sciences Analytiques) à Lyon (<https://isa-lyon.fr/> qui travaille, en particulier mais pas uniquement, sur l'analyse des effluents industriels, food safety, etc).

Un enseignement important de cette expérience en cours est que l'on découvre que faire du compost à partir des couches culottes, c'est possible, mais encore faut-il que les couches elles-mêmes soient biodégradables (problème des fameux 25%

évoqués plus haut), car l'analyse du compost montre que la teneur de résidus non désirables (plastiques) est quatre fois supérieure au maximum autorisé. D'où cette expérimentation en cours avec cinq crèches qui ont accepté d'utiliser exclusivement des couches biodégradables, ce qui soulève la question des filières de production de ces couches, mais également des pratiques au sein des crèches, puisqu'un tri sélectif des couches doit être fait par le personnel (celles que portent les enfants en arrivant le matin ne sont pas forcément biodégradables, donc doivent être séparées) : la liste des **acteurs du recyclage des excréta est donc élargie d'une part aux producteurs des couches, d'autre part aux crèches.**

L'objectif des *Alchimistes* est qu'en 2022, on passe de la phase expérimentation à la création d'un premier site industriel de compostage des couches culottes issues des crèches, avec Paris comme premier fournisseur. **Concernant les débouchés du compost, il n'est pour l'instant pas prévu de l'utiliser pour la production alimentaire (psychologiquement, c'est encore inacceptable, mais ce que l'on oublie, c'est la pratique totalement courante d'épandage dans les champs —blé et autre— des stations d'épuration... et ça ne gêne personne !).**

Parmi les débouchés, l'association a imaginé et souhaite expérimenter un système de location (par exemple à la Ville de Paris, mais pas uniquement) de bacs de plantation avec ce compost de couches culottes.

Mon interlocutrice confirme l'existence d'un vrai intérêt à ce que des solutions émergent dans ce domaine. De plus, elle note, en début d'année, une évolution législative intéressante, avec la Loi d'Economie Circulaire (LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire), notamment l'article relatif à la REP (responsabilité élargie des producteurs, qui élargit le principe du pollueur payeur à de nouvelles familles de produits, dont les couches jetables), de nature à inciter à la production de couches biodégradables, puisque d'ici 2024, les fabricants de couches verront leur responsabilité engagée sur la fin de vie de leur produit.

## 5.- Entretiens « recherche »

Au cours de la phase préliminaire de recherche d'interlocuteurs, le nom du laboratoire LEESU<sup>109</sup> a été évoqué, aussi bien par Marianne Thébert (LVMT) que par Pauline Sy (LAB3S), en tant qu'acteur incontournable sur la question du traitement des excréments humains par l'agriculture, notamment en raison du fait que ce laboratoire est porteur du programme OCAP<sup>110</sup>. Marine Legrand, chargée d'animation et de recherche au sein du programme OCAP et doctorante en anthropologie de l'environnement, a eu la gentillesse de m'accorder un entretien, dont les principaux éléments sont retranscrits ci-dessous sous forme résumée.

### R1 – LEESU, Marine Legrand, bilan de l'entretien du 25/06/2020

Marine Legrand est anthropologue menant ses travaux de recherche dans le cadre du programme OCAP. Né en 2015, ce programme a connu une première phase (3 ans) autour de la thèse de Fabien Esculier sur le métabolisme urbain ; il en est maintenant à la deuxième phase autour d'une thèse en anthropologie (la sienne) et d'une thèse en agronomie ; la troisième phase est sur le point de commencer autour d'une thèse également en agronomie (chaque phase correspond au financement d'une ou deux thèses).

Au sein du programme OCAP, elle est à la fois chargée de recherche et d'animation territoriale, dans une optique de recensement de projets d'accompagnement, en vue d'analyser le changement culturel que nous vivons. Elle mène son travail sur l'assainissement sous un angle particulier, en s'interrogeant comment ces pratiques s'intègrent dans les métiers.

Depuis deux ans, elle construit au fil de l'eau un état des lieux en la matière sur l'Ile-de-France, en sachant que deux ans ne sont pas une période suffisamment longue pour mettre en évidence avec certitude une dynamique : certes, elle a l'impression que ces questions montent progressivement en puissance, mais il peut aussi y avoir un « effet de popularité », puisque plus elle et ses travaux sont connus, plus les gens la contactent, sans que cela témoigne forcément d'un intérêt grandissant.

Elle n'a en tout cas identifié aucun « grand projet » de recyclage des urines ou d'excrément qui ait fonctionné en Ile-de-France ; à sa connaissance, la seule expérience en cours se situe à l'hôpital de Saint Vincent de Paul dans le 14<sup>e</sup> arrondissement, où une étude sérieuse de faisabilité est en cours. Mais rien de concret encore. Quelques rares toilettes sèches fonctionnent dans le cadre d'associations (par exemple *La Cité Fertile* à Pantin ou *Les Murs à Pêches* à Montreuil).

Du côté des pratiques des particuliers, elle a recensé des expériences existantes en Ile de France ; sur le territoire d'Est Ensemble, elle connaît une personne (au sein du tissu pavillonnaire de Noisy-le-Sec) qui pratique le compostage de toilette sèche et son hypothèse est que si elle en a trouvé une, il doit y en avoir plusieurs. Récemment, elle a découvert une annonce

---

109 Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains ( <https://www.leesu.fr/> ) laboratoire commun de l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil et de AgroParisTech

110 Opération de Collecte Agricole des Phytos Inutilisés, programme de recherche & action sur les systèmes alimentation/excrétion urbains et la séparation à la source des eaux usées ( <https://www.leesu.fr/ocapi/> )

de colocation avec toilettes sèches... Mais même si la pratique est légale à partir du moment où l'on composte sur place (la législation n'est certes pas particulièrement favorable en France, mais il y a eu une évolution avec un arrêté de 2009 qui permet aux particuliers de composter les matières fécales sur leur terrain), elle n'avance que « sous le manteau » en contexte urbain.

Concernant les aspects réglementaires et techniques ainsi que les « bonnes pratiques » actuellement reconnues par les pouvoirs publics, le site de l'association RAE (Réseau d'Assainissement Ecologique, <https://reseau-assainissement-ecologique.org/>), qui met les toilettes sèches au cœur de l'assainissement écologique, constitue une source d'informations intéressante.

A la fin de l'entretien, mon interlocutrice précise qu'à sa connaissance, personne dans les milieux académiques de l'urbanisme/aménagement n'a encore travaillé sur ces questions de recyclage des urines et matières fécales dans une perspective de « production de la ville ».

### 10.3. ANNEXE 3

#### La forme urbaine au prisme de la géométrie fractale

L'examen de nombreux plans anciens de villes depuis l'antiquité jusqu'à nos jours permet de constater le caractère très irrégulier de l'emprise de la surface bâtie des villes. Jamais cette dernière n'a été totalement déterminée par l'enceinte fortifiée, pas même à des époques où le besoin de sécurité et de défense face à un environnement incertain et hostile constituait une contrainte très forte (Frankhauser, 1994) : toute ville présentait toujours aussi bien des zones non bâties *intra muros* que des zones bâties *extra muros*. Autrement dit, les formes tourmentées et lacunaires auxquelles nous ont habitués les plans et photographies aériennes des agglomérations urbaines ne sont pas l'apanage des villes post industrielles caractérisées par le démantèlement des fortifications et l'avènement de l'automobile ; il s'agit d'un phénomène universel et s'inscrivant dans le temps long.

Ce caractère fragmenté de l'espace bâti — qui apparaît comme l'un des phénomènes dominants de la croissance urbaine — rend l'étude de sa forme particulièrement délicate.

Cependant, une première analyse de la relation entre le périmètre et la surface d'un certain nombre de zones métropolitaines indique qu'en dépit de cette forme en apparence très irrégulière à l'aune de la géométrie euclidienne, il semble exister un *principe d'ordre interne* à caractère hiérarchique dans l'organisation spatiale des agglomérations.

Différents auteurs ont alors eu l'idée de soumettre ces formes « chaotiques » à l'outil d'observation fourni par la géométrie fractale, notamment en raison de similitudes troublantes entre des figures générées par ordinateur selon un processus fractal corrigé par un facteur aléatoire (pour à la fois respecter le principe d'homothétie interne et évacuer la régularité absolue des figures géométriques fractales) et des « taches urbaines » réelles. Forts de ce constat, certains se sont attachés à mesurer la dimension fractale de différentes structures urbaines, par différentes méthodes.

Dans son ouvrage *La Fractalité des Structures urbaines*, Pierre Frankhauser complète ces travaux par une approche globale, en s'intéressant conjointement aux réseaux techniques et aux agrégats bâtis. Donc, pourrait-on dire, à la « forme urbaine ». Pour mettre en évidence cette régularité cachée qu'est la dimension fractale, P. Frankhauser commence par dresser une liste des différents aspects de la structure urbaine *a priori* analysables à travers le prisme de la géométrie fractale ; il en propose quatre, à différentes échelles : les réseaux de villes (répartition spatiale des agglomérations) à l'échelle régionale ; la forme générale et la surface requise d'une aire métropolitaine (définie par la densité du bâti) à l'échelle de l'agglomération ; le tracé des infrastructures de réseaux de transport en commun (également à l'échelle de l'agglomération) ; la structure de répartition entre « pleins » (surfaces bâties) et « vides » (voirie urbaine) à l'échelle des quartiers.

Il étudie alors empiriquement les plans numérisés de ces quatre types de structures par la « lorgnette fractale » pour conclure que « [...] les agglomérations, aussi fragmentées qu'elles apparaissent, suivent un principe d'organisation intérieure dans leur trame spatiale [...] ; une ville en croissance qui garde sa dimension fractale s'éloigne de plus en plus d'une forme compacte et produit de plus en plus de fioritures »<sup>111</sup>. Et ce constat est vrai sous différents angles d'approche, pour différents types de structures et à différentes échelles.

A l'échelle régionale, sur un territoire donné, les habitats forment des agrégats qui sont constitués de sous-agrégats formés eux-mêmes de sous-agrégats, donnant ainsi lieu à une cascade de niveaux hiérarchiques ; la fractalité exprime alors la dilution radiale des agglomérations selon une loi hyperbolique, ce qui signifie que dans la figure de la tache urbaine, les places libres sont distribuées selon une logique : sur une carte d'échelle régionale, en partant du centre, « on trouve des espaces libres surtout en périphérie où la structure déchiquetée donne lieu à des zones libres de plus en plus grandes, si bien que la surface bâtie se dissout en miettes de plus petits habitats »<sup>112</sup>. Toujours à l'échelle régionale mais d'un autre point de vue, l'étude de la relation périmètre-surface montre que les aires métropolitaines suivent une loi fractale similaire aux propriétés des *Tapis de Sierpinski*, même dans des situations socioculturelles très disparates.

Aux échelles urbaine et locale, diverses caractéristiques fractales peuvent également être observées *intra muros*, où ce type d'analyse peut servir à décrire l'organisation hiérarchisée du réseau de la voirie au niveau de la ville ou du quartier.

La fractalité semble donc être une caractéristique des structures urbaines à diverses échelles.

Enfin, en appliquant une analyse radiale à des réseaux de banlieue de différentes villes, P. Frankhauser montre que leur tracé suit une loi fractale, caractéristique d'une hiérarchie interne dans l'organisation de ces réseaux de transport.

111 Frankhauser P., *La Fractalité des Structures urbaines*, Paris : Economica, collection Villes, 1994, p. 203.

112 Frankhauser P., *La Fractalité des Structures urbaines*, Paris : Economica, collection Villes, 1994, p. 99.

La fractalité des villes, du moins à certaines échelles, traduirait ainsi une évolution « spontanée » — souvent critiquée par les planificateurs comme chaotique —, résultant d'interactions socio-économiques non voulues. En particulier, lorsque Pierre Frankhauser compare l'évolution de la forme des agglomérations après la révolution industrielle aux plans visionnaires des urbanistes, il constate que ces derniers n'ont pas influencé fortement le développement réel des zones métropolitaines : la planification urbaine a dû se résigner à intégrer (ou à canaliser) successivement certaines tendances « spontanées » de développement, comme la croissance axiale ou la croissance polycentrique. Il existerait donc des *processus d'auto-organisation* responsables de la croissance suivant une loi fractale.

## 10.4. ANNEXE 4

### Typologie des commerces et services par motifs de déplacement

Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spéciale, exposition	Accompagner quelqu'un
Commerces multiples	4711D	Supermarchés	X	X	X												X
	4711E	Magasins multi-commerces			X												X
	4711F	Hypermarchés		X													X
	4719A	Grands magasins			X												X
Commerces alimentaires	1013B	Charcuterie	X														X
	1071C	Boulangerie et boulangerie-pâtisserie	X														X
	1071D	Pâtisserie		X													X
	4711A	Commerce de détail de produits surgelés		X													X
	4711B	Commerce d'alimentation générale	X														X
	4711C	Supérettes	X	X													X
	4721Z	Commerce de détail de fruits et légumes en magasin spécialisé		X													X
	4723Z	Commerce de détail de poissons, crustacés et mollusques en magasin spécialisé		X													X
	4725Z	Commerce de détail de boissons en magasin spécialisé		X													X
	4729Z	Autres commerces de détail alimentaires en magasin spécialisé		X													X
	1082Z	Chocolaterie			X												X
5621Z	Traiteur		X													X	

Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spéctacle, exposition	Accompagner quelqu'un
Equipement de la personne	4771Z	Commerce de détail d'habillement en magasin spécialisé			X												X
	4772A	Commerce de détail de la chaussure			X												X
	4772B	Commerce de détail de maroquinerie et d'articles de voyage			X												X
	4777Z	Commerce de détail d'articles d'horlogerie et de bijouterie en magasin spécialisé			X												X
	9523Z	Réparation de chaussures et d'articles en cuir				X											X
	9521Z	Réparation de produits électroniques grand public				X											X
Equipement de la maison	4751Z	Commerce de détail de textiles en magasin spécialisé			X												X
	4759A	Commerce de détail de meubles			X												X
	4759B	Commerce de détail d'autres équipements du foyer			X												X
	4743Z	Commerce de détail de matériels audio et vidéo en magasin spécialisé			X												X
	4754Z	Commerce de détail d'appareils électroménagers en magasin spécialisé			X												X
	4763Z	Commerce de détail d'enregistrements musicaux et vidéo en magasin spécialisé			X												X
	4752A	Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en petites surfaces (moins de 400 m2)			X												X



Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spéctacle, exposition	Accompagner quelqu'un
Equipement de la maison	4752B	Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m2 et plus)			X												X
	4753Z	Commerce de détail de tapis, moquettes et revêtements de murs et de sols en magasin spécialisé			X												X
	4776Z	Commerce de détail de fleurs, plantes, graines, engrais, animaux de compagnie et aliments pour ces animaux en magasin spécialisé			X												X
Equipement santé beauté hygiène	4773Z	Commerce de détail de produits pharmaceutiques en magasin spécialisé		X													X
	4774Z	Commerce de détail d'articles médicaux et orthopédiques en magasin spécialisé			X												X
	4775Z	Commerce de détail de parfumerie et de produits de beauté en magasin spécialisé			X												X
	4778A	Commerces de détail d'optique			X												X
	9601B	Blanchisserie-teinturerie de détail				X											X
	9602A	Coiffure				X											X
	9602B	Soins de beauté				X											X
	9603Z	Services funéraires															X
	9313Z	Activités des centres de culture physique													X		X
	9604Z	Entretien corporel				X											X
	9312Z	Club de sport													X		X

Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spéctacle, exposition	Accompagner quelqu'un
Activités et services santé	8621Z	Médecins généralistes							X								X
	8622C	Médecins spécialistes							X								X
	8623Z	Dentiste							X								X
	8690E	Masseur kinésithérapeute							X								X
	8710A	Personnes âgées : hébergement						X									X
	8610Z	Activité hospitalière						X									X
Equipement culture loisirs sport	4761Z	Commerce de détail de livres en magasin spécialisé			X												X
	4762Z	Commerce de détail de journaux et papeterie en magasin spécialisé	X														X
	4764Z	Commerce de détail d'articles de sport en magasin spécialisé			X												X
	4741Z	Commerce de détail d'ordinateurs, d'unités périphériques et de logiciels en magasin spécialisé			X												X
	4742Z	Commerce de détail de matériels de télécommunication en magasin spécialisé			X												X
	4765Z	Commerce de détail de jeux et jouets en magasin spécialisé			X												X
	5914Z	Cinéma														X	X
	9102Z	Musée														X	X

Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spectacle, exposition	Accompagner quelqu'un
Auto/moto : commerces et entretien	4511Z	Commerce de voitures et de véhicules automobiles légers				X											X
	4520A	Entretien et réparation de véhicules automobiles légers				X											X
	4540Z	Commerce et réparation de motocycles				X											X
	4730Z	Commerce de détail de carburants en magasin spécialisé		X													X
Autres commerces divers	4719B	Autres commerces de détail en magasin non spécialisé			X												X
	4726Z	Commerce de détail de produits à base de tabac en magasin spécialisé	X														X
	4779Z	Commerce de détail de biens d'occasion en magasin spécialisé			X												X
	4791A	Vente à distance sur catalogue général (Drives)			X												X
Cafés restaurant	5510Z	Hôtels et hébergement similaire															X
	5610A	Restauration traditionnelle					X										X
	5610C	Restauration de type rapide					X										X
	5630Z	Débits de boissons					X										X

Types de commerce	Code NAF 732	Libelle code NAF 7312	Achats quotidiens	Achats hebdomadaires	Achats occasionnels	Affaires personnelles autres	Restauration hors domicile	Hôpital	Santé hors hôpital	Démarches administratives	Recherche d'emploi	Ecole maternelle et primaire	Collège et lycée	Etudes supérieures	Activité sportive	Spéctacle, exposition	Accompagner quelqu'un
Services tertiaires ayant vitrine sur rue	7911Z	Activités des agences de voyage				X											X
	6419Z	Banque, Caisse d'Épargne				X											X
	6831Z	Agences immobilières				X											X
	7711A	Location de courte durée de voitures et de véhicules automobiles légers				X											X
	7820Z	Activités des agences de travail temporaire									X						X
	8553Z	Enseignement de la conduite				X											X
	8690B	Laboratoires d'analyses médicales				X											X
	7500Z	Activités vétérinaires				X											X
Autres activités libérales	6810Z	Marchands de biens immobiliers				X											X
Services publiques	8411Z	Administration publique générale								X							X
	8430C	Distribution sociale de revenus (CAF)								X							
	5310Z	Poste nationale				X											X
	8413Z	Pôle emploi									X						X
	8891A	Etablissement d'accueil du jeune enfant (crèche)				X											X
Enseignement	8510Z	Ecole maternelle										X					X
	8520Z	Ecole primaire										X					X
	8531Z	Secondaire générale											X				X
	8532Z	Secondaire technique et professionnel											X				X
	8542Z	Supérieur												X			X
	8559A	Formation continue d'adultes				X											X

## SIGLES ET ACRONYMES

<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>APUR</b>	Atelier Parisien d'Urbanisme
<b>CDT</b>	Contrat de Territoire
<b>EPT</b>	Établissement Public Territorial
<b>LVMT</b>	Laboratoire Ville Mobilité Transport, Université Gustave Eiffel et Ecole des Ponts
<b>PCAET</b>	Plan Climat Air Énergie Territorial
<b>PLD</b>	Plan Local de Déplacements
<b>PLU</b>	Plan Local d'Urbanisme
<b>SCoT</b>	Schéma de Cohérence Territoriale
<b>TheMA</b>	Théoriser et Modéliser pour l'Aménagement, Université Franche-Comté, Université Bourgogne et CNRS
<b>ZAC</b>	Zones d'Aménagement Concerté

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

## Projet SOFT : sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport

Le projet SOFT, sobriété énergétique par les formes urbaines et le transport, a abordé la question de la stratégie énergétique d'un territoire à l'aide d'un concept d'aménagement multi-échelle utilisant la géométrie fractale.

Les outils de fractalopolis permettent de créer au cas par cas un zonage multi-échelle adapté à chaque territoire, préservant des lacunes à différentes échelles pour la continuité des trames vertes et bleues, qui constitue une sorte de plan local d'urbanisme multi-échelle, décrivant une organisation hiérarchique fonctionnelle du territoire. Ce zonage sert de base à des évaluations de population, et des évaluations d'accessibilité à différentes aménités, dont les commerces et services et les espaces verts.

Le projet SOFT a appliqué ce concept au territoire d'Est-Ensemble, établissement public territorial situé à l'est de Paris.

*La ville dense compacte n'est pas le seul modèle de ville économe en énergie.*

*Le concept d'aménagement fractalopolis utilise la géométrie fractale pour concilier diversité de densité à toutes les échelles, respect des trames vertes et bleues, organisation hiérarchique du territoire, et enfin accessibilité aux aménités.*

*À l'aide du logiciel du même nom, il peut être mis en œuvre de manière à proposer des pistes d'aménagement en vue d'une plus grande performance énergétique et d'une plus grande sobriété.*

