

Analyse des systèmes territoriaux : étude de cas de l'implantation de la nouvelle infrastructure du GPE à Nanterre

ALICIA JACOB, JUSTE RAIMBAULT
Département VET, Ecole Nationale des Ponts Et Chaussées

25 février 2014

Module MASYT : *Méthodes d'Analyse des Systèmes Territoriaux*
Prof. : FABIEN LEURENT, LVMT, ENPC



Résumé

Le problème de l'effet structurant des infrastructures de transport sur le développement territorial est central dans les études de planification et constitue un enjeu majeur de la recherche actuelle, comme le rappelle Le Nechet dans [1] en abordant la question du point de vue des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Les débats sur l'élaboration de la nouvelle infrastructure ferroviaire du Grand Paris Express (GPE) rentrent dans ce cadre, puisqu'ils posent les questions de nécessité de l'infrastructure, mais aussi de la modélisation des futurs impacts de l'implantation sur les territoires concernés. A une échelle locale, nous étudions le cas de la future gare du GPE sur la commune de Nanterre, afin de tenter d'appréhender les enjeux et évolutions potentielles liées à celle-ci. Dans une première partie, nous procédons à un diagnostic territorial afin de cadrer l'étude. Nous étudions ensuite un scénario socio-économique et urbanistique d'évolution pour la zone. Enfin, suivant ce scénario, nous simulons certains impacts de l'implantation du GPE sur le territoire.

1 Diagnostic territorial

1.1 Contexte géographique et historique

1.1.1 Localisation

Nanterre est une commune située à l'ouest parisien en petite couronne, dans le département 92 des Hauts de Seine. Il s'agit d'un territoire qui doit composer avec de multiples enjeux. En effet, cette commune est à la fois la préfecture du département des Hauts de Seine, un important pôle d'emplois, possède un parc de logements sociaux conséquent et accueille une université, estimée comme le deuxième campus de France et qui accueille un peu plus de 30000 étudiants (voir [2]).

La zone étudiée est la zone de Nanterre La Folie située dans le Nord de Nanterre et qui est principalement composée de l'université, de la prison et d'une zone industrielle.

1.1.2 Histoire

Nanterre est connue pour les bidonvilles qui dans les années 60 abritaient 14 000 immigrés principalement algériens (voir figure 2). Mais c'est seulement à partir des années 70 que les bidonvilles commencèrent à se résorber grâce à des plans de constructions massives de logements sociaux impulsés par la SONACOTRA (Société nationale de construction de logements pour les travailleurs algériens). A Nanterre ces bidonvilles étaient surtout situés dans le quartier de Nanterre La Folie. En héritage de cette époque Nanterre La Folie est maintenant un quartier constitué d'infrastructures et d'industries construites sur les emplacements des bidonvilles et de peu de logements.

Cet héritage a également un fort impact sur la composition sociale de la population comme nous le verrons par la suite, ainsi que sur la vie politique, la mairie étant communiste depuis 1935. A noter également que la faculté de Nanterre fut un point fort des événements de mai 1968, comme une réaction à sa condition de "ghetto d'intellectuels" que critique LEFEBVRE dans [3], lui-même ayant une relation privilégiée avec la faculté de Paris X et mai 68.

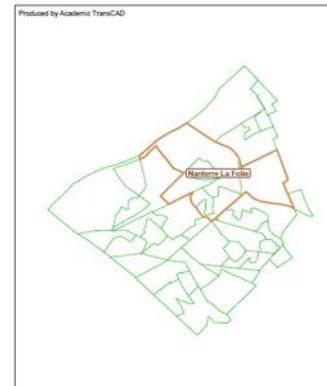
Le territoire étudié hérite donc d'une histoire riche, à prendre en compte en filigrane lors de l'analyse pragmatique que l'on en fera : il est impossible de comprendre les enjeux liés au renouvellement urbain ou les symboliques en jeu dans les projets urbains sans une mise en contexte historique, comme le rappellent PANERAI et MANGIN dans [4].

1.2 Analyse morphologico-fonctionnelle préliminaire

A l'instar de BADARIOTTI dans [6], nous soutenons qu'il est possible de glisser d'une lecture morphologique du territoire à une lecture sociale. Ainsi, nous proposons comme bref préliminaire à l'analyse



(a) Nanterre en Ile-de-France (source [7])



(b) Localisation de la zone projet

FIGURE 1: Localisation

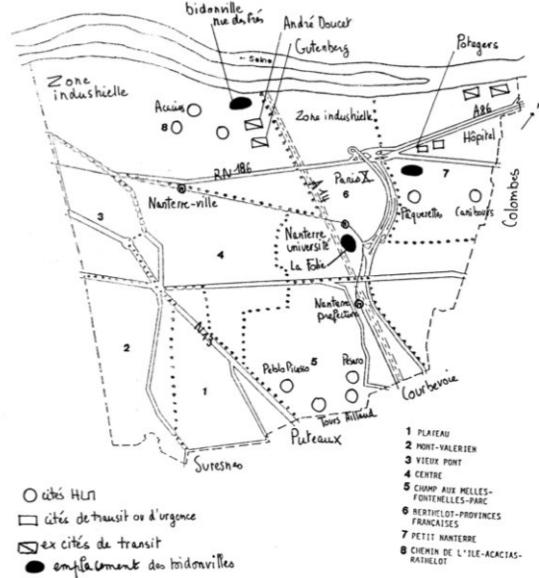


FIGURE 2: Localisation des principaux bidonvilles à Nanterre, source [5]

territoriale pragmatique une analyse morphologico-fonctionnelle par étude de la carte IGN, qui est en fait bien plus qu'une projection physique du territoire, puisqu'elle inclut par exemple représentation sémantique (couche des noms de lieux), représentation fonctionnelle en partie (couche des fonctions importantes et/ou fonctions publiques), représentation dynamique par matérialisation, catégorisation et hiérarchisation des moyens de transports, et donc nécessairement par interaction des ces composantes du système urbain, une certaine représentation du système social sous-jacent car ce dernier est étroitement lié à l'ensemble des autres sous-systèmes.

La représentation cartographique et l'analyse correspondante sont présentées en figure 3. La conclusion générale qu'on peut en tirer est la présence d'une forte hétérogénéité fonctionnelle et sociale du territoire, sûrement amplifiée par de nombreuses coupures urbaines à l'origine d'une ségrégation physique. Il s'agit d'un territoire à haut potentiel de qualité urbaine, mais qui porte des cicatrices historiques et physiques qui réduisent son expression de manière conséquente.

1.3 Analyse territoriale pragmatique

1.3.1 Vue d'ensemble

Nanterre en quelques chiffres clefs Nanterre est la 7eme commune la plus peuplée de France avec près de 90 000 habitants. Son bassin d'emploi compte plus de 96 000 emplois occupés et son université accueille plus de 31 000 étudiants. Des 38 000 actifs de Nanterre 65% travaillent dans une autre commune, des 31 000 étudiants de l'université de Nanterre plus de 90% proviennent d'une autre commune de même que 85% des actifs occupant les emplois de Nanterre. Les flux décrits précédemment sont résumés dans le schéma présenté en figure 4. On compte au total plus de 200 000 habitants de la ville qui induisent donc une forte demande en transport.

Desserte actuelle de Nanterre Nanterre est desservie par le RER dans trois gares : Nanterre Ville, Nanterre Préfecture et Nanterre Université qui est aussi une gare de trains transiliens. Le transport en

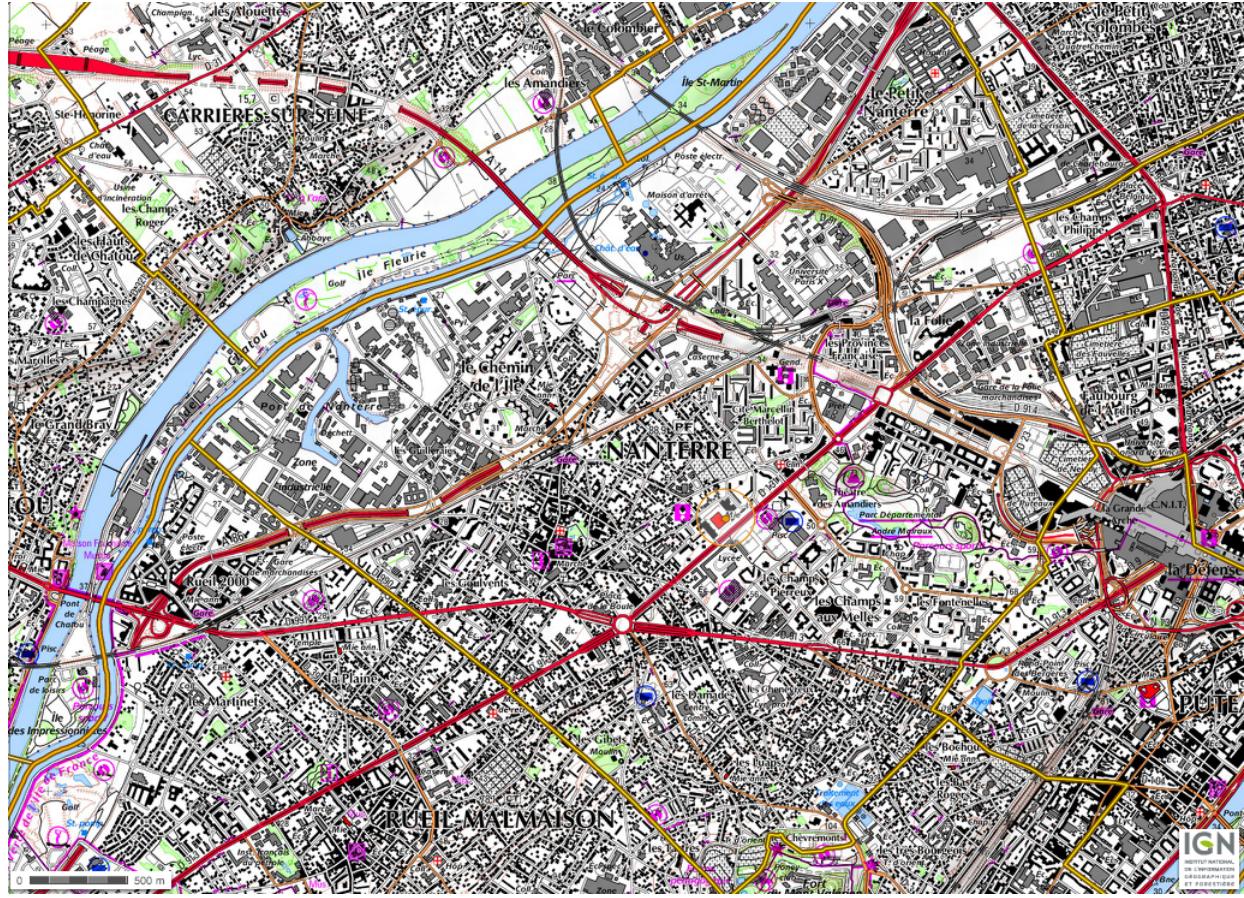


FIGURE 3: Carte IGN de la commune de Nanterre (source Géoportail). Les limites de la commune sont matérialisées par la couche superposée en jaune et orange. On constate dans un premier temps la forte segmentation du territoire par les infrastructures de transport et les équipements. Par exemple, le quartier du petit Nanterre est complètement isolé par les voies de St-Lazare. De même, la branche sud-ouest du RERA tranche le centre-ville en deux, de même que les infrastructures autoroutières de l'A14 et l'A86. Si la couverture a été opérée au niveau de la préfecture, dans le prolongement de l'aménagement de La Défense, l'échangeur a été laissé à moitié découvert, empêchant toute utilisation de son emprise pour des opérations d'urbanisme. On observe également les différences morphologiques du tissu urbain qui traduisent des différences socio-économiques : les quartiers sud sont des zones pavillonnaires peu denses, probablement assez riches ; on distingue le centre historique plus dense ; les quartiers de logements sociaux sont relativement isolés, telle la cité Berthelot. Des zones comme le port ou la zone industrielle de la Folie sont monofonctionnelles et séparées du reste de la ville. Enfin, le campus de la faculté apparaît aussi comme un îlot isolé, une ville au milieu de la ville, délimité par les barrières physiques des infrastructures, ce qui suggère peu d'interaction entre les étudiants et les locaux, c'est à dire un facteur de plus en défaveur de la mixité sociale. La commune est de manière globale peu dense mais manque d'espace verts : le parc Malraux est conséquent mais n'est pas satisfaisant pour une commune de cette taille, d'autant plus que l'offre en espace verts est alors très localisée. Les bords de Seine ne sont pas du tout valorisés, de même que l'accès au Mont Valérien semble peu accessible pour l'ensemble des habitants. On a donc un territoire très fragmenté, d'une très forte hétérogénéité, pour lequel le potentiel de qualité urbaine semble être handicapé par l'héritage historique et la situation morphologique.

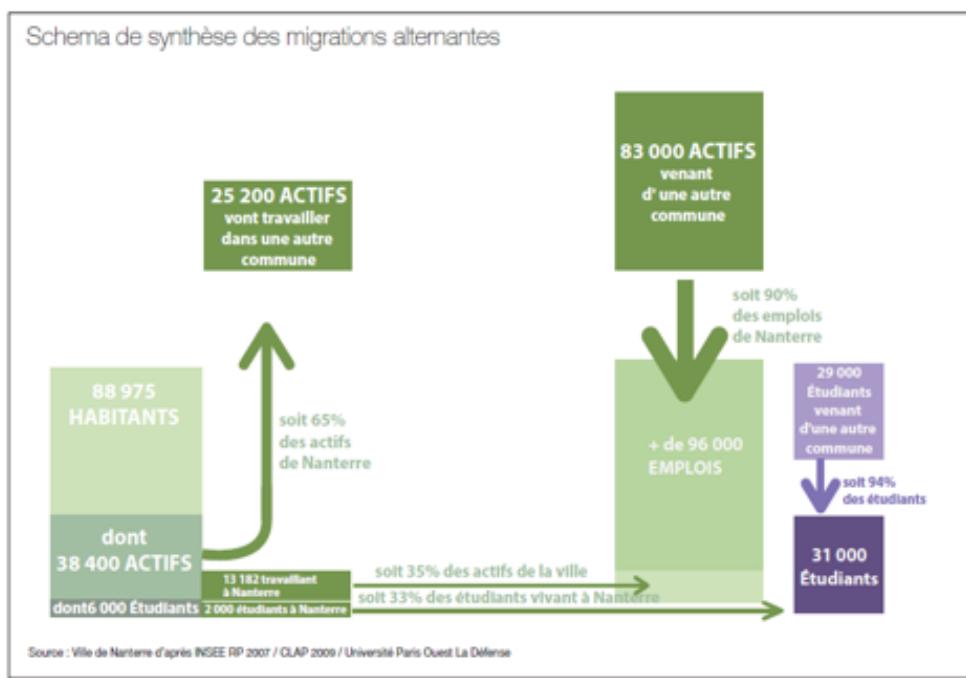


FIGURE 4: Migrations alternantes à Nanterre, issu de [7]

commun de proximité est également caractérisé par une forte offre, puisque Nanterre est desservi par 19 lignes de bus : 12 lignes interurbaines exploitées par la RATP : 141, 157, 158, 159, 160, 163, 258, 276, 304, 360, 367 et 378 ; 1 ligne interurbaine exploitée par Veolia Transport : 503 Nanterre Plain champs/ Gare de Saint-Quentin-en-Yvelines ; 3 lignes urbaines exploitées par la RATP : 559 (ligne bleue), 560 (ligne rouge) et 563 et 3 lignes nocturnes exploitées par la RATP : N24, N53 et N 153. La diversité de l'offre et la multiplication des acteurs peu devenir problématique, notamment lors de la mise en place des projets : par exemple, les études pour la future gare de la folie doivent au moins rassembler la commune, la région et le département via leur financement, l'état via le financement du GPE, encore la région via le Stif, la RATP, la SNCF, RFF pour la gestion des entreprises ferroviaires, etc. Un consensus entre les différents acteurs peut parfois être difficile à trouver et freiner considérablement l'avancement du projet.

Concernant le réseau routier, Nanterre est desservie par les autoroutes A86 et A14, la première ayant plutôt vocation d'autoroute urbaine de transit inter-banlieues ("deuxième rocade") et la deuxième étant une autoroute radiale desservant la province, mais également fortement utilisée localement. Ces infrastructures, même en étant bénéfiques en terme d'accessibilité, sont pour la ville également un lourd handicap : nuisances sonores et pollution, coupures urbaines, propagation de la congestion.

Apports du GPE Une gare du GPE serait implantée dans le quartier de Nanterre La Folie. Le RER E serait prolongé jusqu'à Nanterre Université et il est en étude un passage souterrain reliant ces deux gares. Le phasage actuel du projet Eole¹ suggère dans un premier temps un terminus au niveau de Nanterre, avant de finir les aménagements pour un prolongement sur les lignes existantes jusqu'à Mantes. Ce phasage traduit deux objectifs distincts et complémentaires du projet, qui sont d'une part

1. Site du projet : <http://www.rer-eole.fr/index.htm>

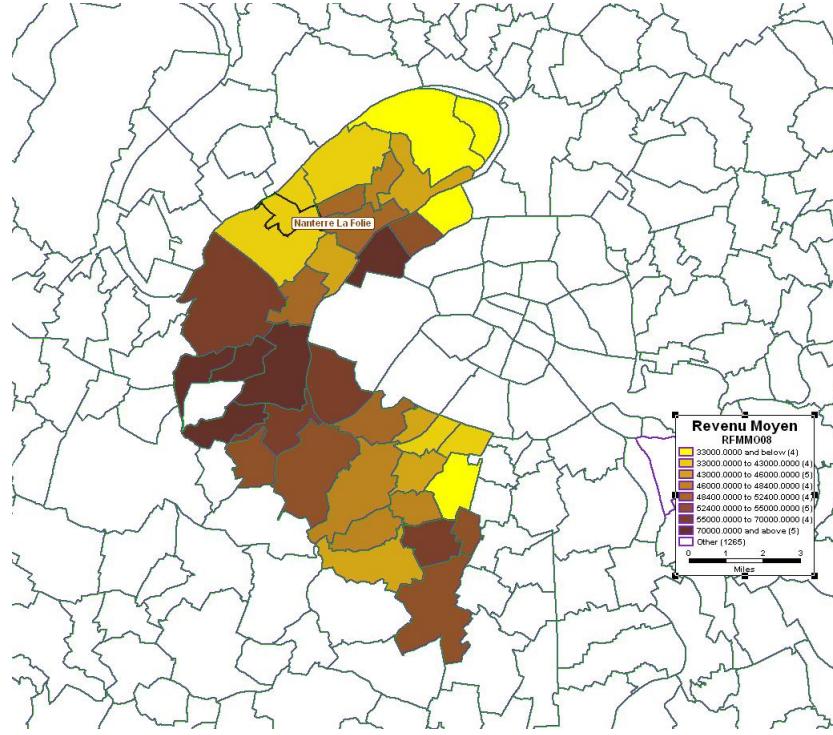


FIGURE 5: Disparités de revenus, département des Hauts-de-Seine

le doublage de la ligne A afin de désaturer structurellement la ligne la plus fréquentée du monde, d'autre part le désenclavement du Nord-ouest parisien dans une volonté de redynamisation liée au prolongement implicite de la métropole vers Rouen et Le Havre. Cependant, ces deux objectifs peuvent être contradictoires dans le cadre du projet urbain autour de la nouvelle gare : un terminus provisoire suppose de larges emprises pour le stockage des rames, ce qui rend peut probable l'urbanisation du large faisceau au sud du quartier de la folie (une couverture étant inenvisageable) et rend plus compliqué l'élaboration d'un nouveau quartier de gare dynamique.

Comme la gare de Nanterre la Folie serait implantée dans un quartier actuellement située dans une zone industrielle. Il est prévu de réaménager la zone autour de la gare. Nous proposerons à cet effet un plan masse dans la seconde partie.

1.3.2 Analyse du Territoire

Nanterre dans le 92

Il est important de situer la commune au sein des territoires environnants, notamment du département. En effet, il est montré dans [8] que les hétérogénéités territoriales peuvent bien être présentes à de multiples niveaux, allant de l'aire urbaine à l'intra-communal. La figure 5 présente la carte des revenus moyens par commune au sein du département des Hauts-de-Seine. On constate un fort contraste avec les communes au sud, très riches, telles Rueil. Nanterre n'est pas la commune la plus pauvre du département, comme Genevilliers ou Villeneuve au Nord, mais est largement en dessous de la moyenne, et en forte disparité avec ses voisins immédiats au sud. On peut supposer qu'une telle situation peut contribuer à créer ou accentuer des tensions au sein même de la commune, par effets de voisinage.

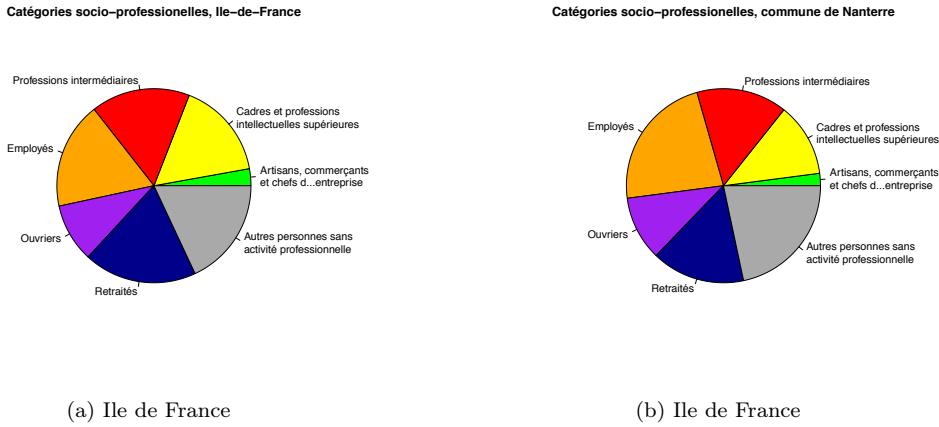


FIGURE 6: Répartitions des catégories socio-professionnelles

Population

Nous avons comparé la répartition des catégories socioprofessionnelles en Ile France avec celle pour Nanterre, d'après les données de [9], comme le montre la figure 6. On peut remarquer que la part d'ouvriers et d'employés est plus importante sur la commune de Nanterre que dans le reste de l'île de France bien que Nanterre soit un pôle d'emplois de cadres et professions intermédiaires. La part d'employés élevée s'explique en partie par le rôle de préfecture joué par Nanterre qui implique des employés de bureau.

Les parts de ces catégories socioprofessionnelles ont évolué différemment depuis 1968. Alors que la part d'employés a plutôt diminué dans le reste de l'île de France cette part a augmenté pour la ville de Nanterre. Au contraire la part de cadres a augmenté moins vite que dans le reste de l'île de France. Ces évolutions sont montrées en figure 8.

Les emplois de la ville de Nanterre sont principalement des activités tertiaires. On remarque que l'administration publique représente près de 20% des emplois de la ville et l'enseignement 5% ce qui correspond aux activités respectivement liées à la préfecture de Nanterre et à l'université. Les autres activités tertiaires représentant 45% des emplois de la ville correspondent principalement à des emplois de cadres, comme on peut le constater en figure 7.

On voit ici un des paradoxes de la ville de Nanterre qui est que les emplois de la ville ne correspondent pas aux catégories socioprofessionnelles des habitants. En effet la majorité des emplois offerts par la ville sont des emplois d'activités tertiaires supérieures alors que les habitants sont majoritairement des employés et ouvriers peu qualifiés.

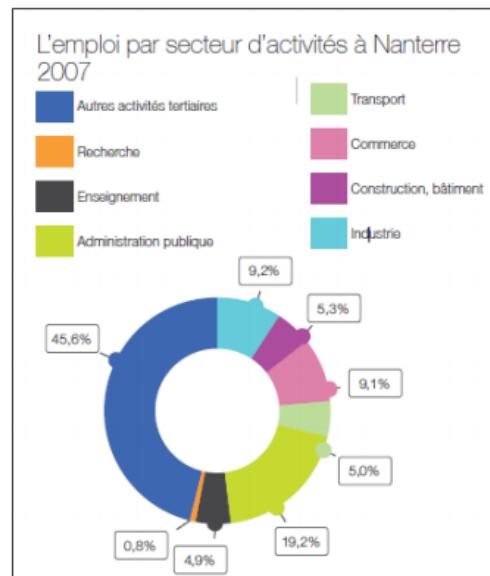
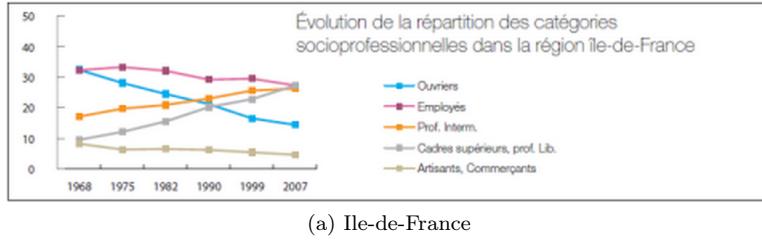
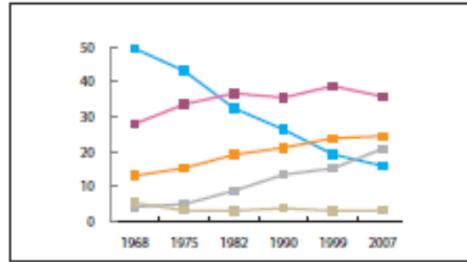


FIGURE 7: Secteurs d'activité (source [7])



(a) Île-de-France



(b) Nanterre

FIGURE 8: Evolution des CSP en IDF et à Nanterre entre 1968 et 2007 (source [7])

Sur la zone projet La Folie la part des « autres personnes sans activité professionnelle est plus importante que dans le reste de Nanterre (voir figure 9). On peut expliquer cela par la présence de l'université qui attire des étudiants dans la zone. La disparité des CSP au sein même de la zone est montré par la carte de répartition spatiale des CSP par zones Iris en figure 10 : on peut voir la zone correspondant à la faculté fondamentalement différente des autres.

1.3.3 La dynamique de quartiers de Nanterre

Nanterre est fracturé en différents quartiers étanches les uns aux autres. On peut caractériser ces différents quartiers en faisant une étude croisée des trois cartes présentées en figure 11. Les deux principaux critères qui permettent de différencier ces quartiers sont l'âge de la population et son revenu moyen. On distingue donc le sud, de population plutôt âgée et aisée avec des habitations individuelles, la zone de La Folie plutôt jeune et de faible revenu avec des infrastructures et des logements collectifs, la pointe ouest de Nanterre avec peu d'habitation et une population défavorisée. A noter que sur la carte « richesse de la population » une grande partie de la zone de La Folie apparaît en blanc car certaines données sont manquantes. On sait d'après l'atlas socio-économique de la ville de Nanterre que dans cette zone la population a un faible revenu moyen.

1.3.4 Conclusion de l'analyse territoriale

Le diagnostic pragmatique a confirmé les tendances suggérées lors de l'analyse préliminaire. Ainsi, le territoire est relativement sensible tant au niveau social qu'au niveau économique : par exemple, un projet urbain qui promeut une densification devra prendre en compte la part importante d'activité permettant l'emploi local, et ne pas supprimer celles-ci au profit d'un secteur tertiaire unique car cela augmenterait les tensions sociales vu le contexte socio-professionnel. De même, cette analyse suggère un fort potentiel de développement, qui peut être envisagé comme stratégie urbaine : c'est le scénario que nous allons présenter par la suite.

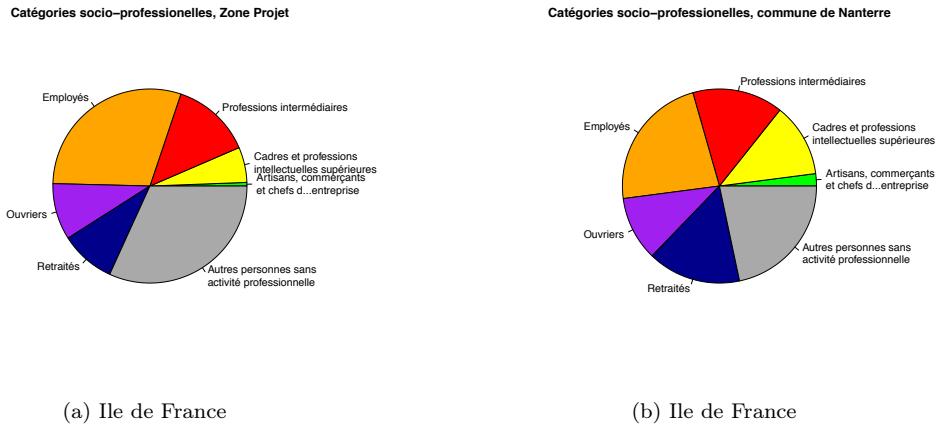


FIGURE 9: Répartitions des catégories socio-professionnelles

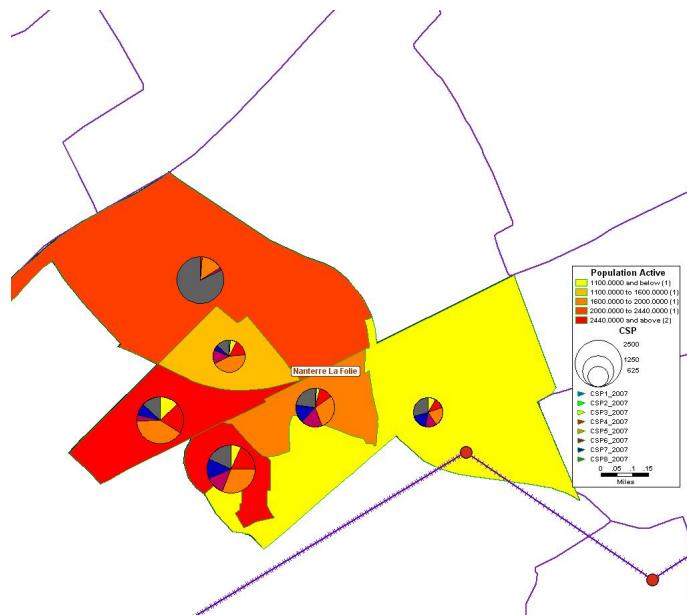


FIGURE 10: CSP et quantité de population active au sein de la zone (découpage Iris)

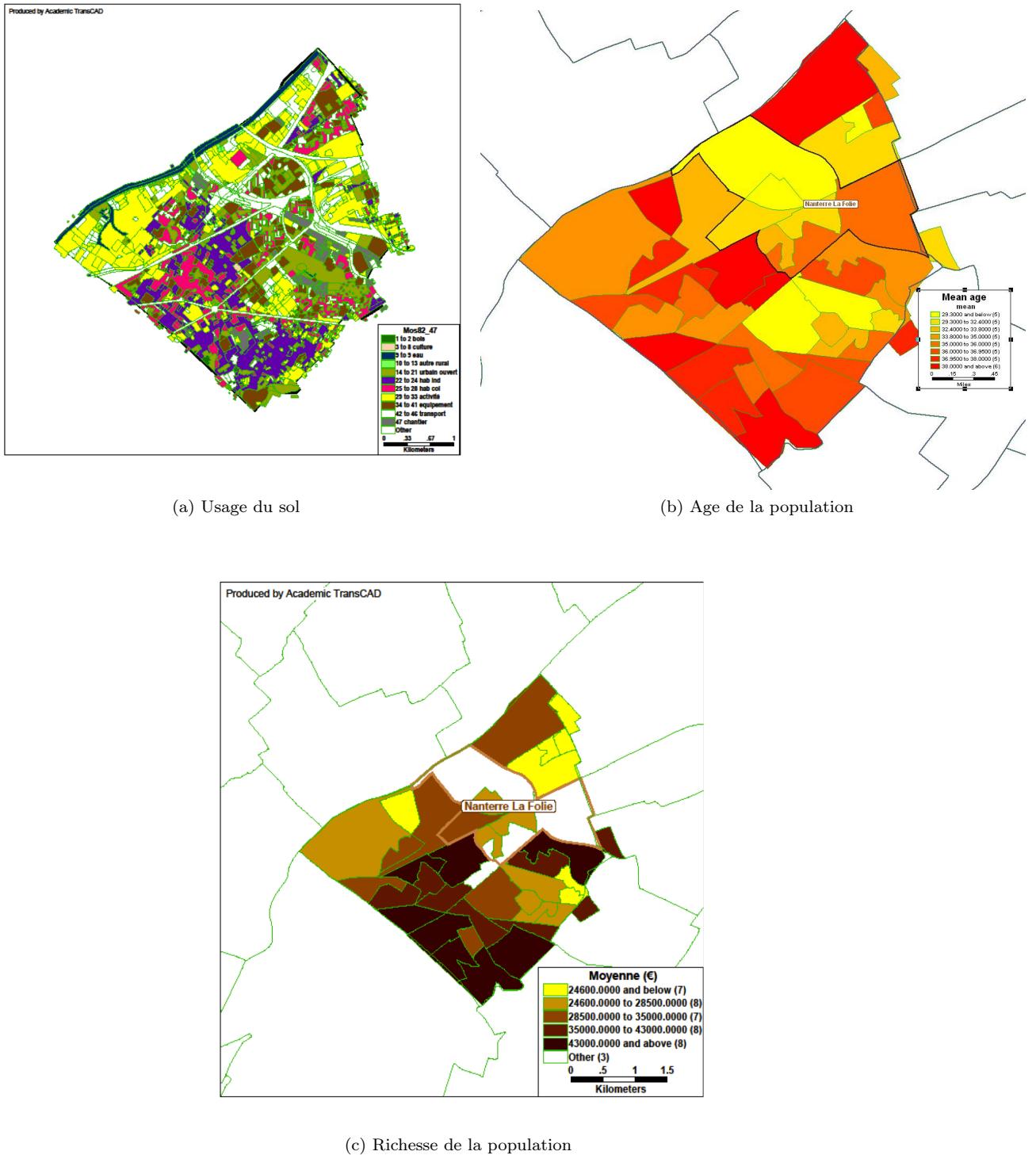


FIGURE 11: Dynamique de quartiers (données 2007)

	ZONE	PTOT_2030	ETOT_2030	PACT	PACT	ETOT	PETU
2030	829	28201	28236	14661	13540	28236	0
2005	829	13819	12721	6635	7184	12721	31000
2030 Modifié	829	44000	45000	22874	21126	45000	34906

FIGURE 12: Projection P+E

2 Projections, scénarisation et projet urbain

2.1 Projection Population et Emploi à l'horizon 2030

La figure 12 présente des projections pour l'évolution de la population et des emplois. On a en première ligne les données de la zone de 2005. La deuxième ligne représente les prévisions de l'INSEE, la troisième ligne le scénario que nous allons étudier. Nous avons décidé d'étudier un scénario suivant la lignée générale de l'orientation voulue pour les prochaines années par la mairie de Nanterre. D'après l'Atlas socio-économique de la ville de Nanterre ([7]) il est prévu la construction de 1000 logements par an jusqu'en 2030. Il est important de noter que cette volonté rentre dans la ligne directe des textes du nouveau Schéma directeur voté en octobre dernier ([10]), qui appuie sur la pénurie croissante de logements en Ile-de-France, et notamment de logement sociaux. De la part des décideurs politiques locaux, cette décision paraît légitime vu leur appartenance à l'aile gauche de la présidence de région, qui a contribué de manière considérable à l'élaboration du Sdrif et a tenu au respect des droits sociaux élémentaires. Ces considérations politiques sont faites ici de manière objective pour dresser le constat suivant : un changement de lignée politique aux prochaines élections pourrait totalement bouleverser la mise en place du scenario que nous proposons. Ainsi, malgré l'existence de conjonctures structurantes pour l'évolution de l'urbanisme, la place de la politique n'est pas à négliger, vu la forte sensibilité des systèmes urbains au chemin choisi (voir par exemple [11]). Etant donné cette croissance du nombre de logements, nous avons multiplié ce chiffre par le nombre moyen d'individu par ménage sur Nanterre (environ 2) pour finalement prévoir une population de 44 000 habitants en 2030. La volonté de la Mairie de Nanterre est également de maximiser la mixité fonctionnelle de la ville et donc de conserver un équilibre entre le nombre d'emploi et d'habitant, soit un nombre d'emploi d'environ 45 000. Dans les données le nombre d'étudiant manquait, nous sommes donc allés le rechercher dans l'atlas socio-économique de la ville de Nanterre dont les données datent de 2007. En supposant qu'il n'y a pas eu de changement conséquent entre 2005 et 2007 nous avons repris cette valeur pour 2005. Nous avons ensuite multiplié cette donnée par le taux de croissance globale de la population d'île de France entre 2005 et 2030 pour obtenir une estimation du nombre d'étudiants étudiant à Nanterre en 2030.

2.2 Stratégies urbanistiques

Dans le cadre du scénario de développement présenté ci-dessus, une stratégie urbaine a été élaborée afin d'accompagner et d'encourager le développement. Présentée dans [12], cette stratégie est axée sur une densification globale de la ville, sur une augmentation de la mixité fonctionnelle, ainsi que des

actions ciblées de réhabilitation ou de requalification. Il semble que la stratégie soit la réponse directe au diagnostic fait en première partie, que les décideurs doivent avoir fait de manière plus approfondie et plus fine.

Avant de nous intéresser à un cas concret de réhabilitation d'un quartier, posons d'abord un regard critique sur la faisabilité des projets. La densité de Nanterre est de 7340 hab.km², c'est à dire une densité trois fois moindre que celle de Paris (environ 21000). La ville est donc loin d'étouffer et possède un fort potentiel de densification. Ce qui est sûr, c'est que celle-ci ne se fera pas à bas coût, vu la nature des parcelles pouvant être urbanisées : échangeur autoroutier à couvrir, emprises ferroviaires, usines à requalifier. Même si nous ne disposons pas d'un chiffrage de coûts, il est certain que la stratégie envisagée demandera un effort largement supérieur à des actions molles, mais les financements sont a priori disponibles d'acteurs comme l'état ou la région, vu l'importance de la zone au sein du territoire à une plus grande échelle. Il faudra également porter une attention particulière à une répartition homogène d'espaces verts, vu la forte hétérogénéité actuelle ; les projets tels la requalification des bords de Seine semblent aller dans ce sens. Ainsi, la stratégie urbanistique semble réalisable, mais nécessitera certainement une volonté politique forte et une réelle motivation de chacun des acteurs, des citoyens aux entreprises, en passant par les pouvoirs et les services publics, ainsi qu'un certain consensus sur la majorité des projets.

2.3 Proposition de plan masse déterminé par heuristique d'optimisation

2.3.1 Contexte

Au sein des éléments structurants de la probable stratégie d'urbanisme de la ville de Nanterre dans les prochaines années, le sort du quartier des Groues tient une place particulière : aujourd'hui très enclavé et monofonctionnel, il ne s'agit pas d'un quartier urbain "vivable" au sens d'une qualité de vie subjective, mais plutôt d'un "no-man's land" urbain au sens de MANGIN dans [13], zone que la morphologie rattacherait à une commune adjacente mais que le découpage administratif attribue à Nanterre, conduisant à une négligence d'un réel développement comme quartier de vie.

Le projet actuel de la ville pour ce quartier, présenté par exemple dans [14], est de le reconnecter au reste de la commune par de multiples franchissement des coutures des emprises ferroviaires ainsi que de requalifier totalement son activité dans l'objectif de créer un quartier mixte au niveau fonctionnel tout en augmentant son activité économique, d'une part en maintenant au sein des nouvelles infrastructures la place des PME secondaires présentes actuellement sur le site, d'autre part en amenant un certain nombre de bureaux pour des entreprises du secteur tertiaire, le tout en recherchant une grande mixité fonctionnelle avec les logements notamment.

Nous proposons par la suite une méthode afin d'optimiser l'organisation des fonctionnalités au niveau de granularité du bâtiment : tout en prenant le parti que les bâtiments seront eux-même à mixité fonctionnelle, on sait que certaines activités secondaires sont peu compatibles avec des bâtiments classiques, et nous proposons donc de fixer une dominante fonctionnelle pour chaque sous-zone correspondant environ à l'emprise d'un bâtiment. Nous ne discutons pas le choix de la mixité qui semble légitime dans la plupart des projets urbains actuels, même si la littérature quantitative est assez pauvre quant à ses bénéfices (voir par exemple [15] pour un modèle agent-based permettant de conclure dans ce sens, mais il s'agit d'un cas relativement isolé dans l'ensemble des travaux en modélisation urbaine).

2.3.2 Algorithme

L'objectif est d'optimiser la nouvelle configuration fonctionnelle du quartier selon des indicateurs de qualité urbaine. On se place dans le cadre d'une optimisation au sens de Pareto, qui revient à la détermination des configurations formant le front de Pareto dans l'espace des indicateurs.

On suppose fixée la trame structurante du réseau viaire modélisée comme un réseau euclidien N_0 pavant la zone géographique $P \subset \mathbb{R}^2$ du quartier, on note $(P_i)_{1 \leq i \leq K}$ les polygones correspondant pavant la zone. Pour définir l'espace des configurations \mathcal{C} sur lequel l'optimisation se fait, on représente une configuration fonctionnelle comme la donnée de points et de leur fonctions, correspondant aux centroides des zones fonctionnelles (définis pour simplifier de façon inversée : étant donné un centre de, la zone correspondante est l'ensemble des points pour lesquels ce centre est le plus proche). De plus, une configuration inclut un réseau viaire reliant les centroides et étendant la trame N_0 . De manière formelle, si on note \mathcal{N} l'ensemble des réseaux euclidiens inclus dans P , on a, avec c_{max} nombre maximal de centroides et N_a nombre d'activités, $\mathcal{C} \subset \cup_{i=1}^{c_{max}} (P \times [|1; N_a|])^i \times \mathcal{N}$, avec les contraintes suivantes vérifiées pour $C = ((x_i, y_i, a_i)_{1 \leq i \leq N_c}, N)$:

- taille minimale des zones fonctionnelles : $\forall i, j, \|(x_i, y_i) - (x_j, y_j)\| \geq d_{min}$, ce qui donne immédiatement une majoration du nombre de zones, en utilisant une minoration de l'aire de chacune des zones par celle du cercle de rayon $d_{min}/2$ nécessairement contenu dans celle-ci : $N_c \leq \frac{4|P|}{\pi d_{min}^2}$
- N est connexe
- N étend strictement N_0 au sens suivant : il existe $N' \subseteq N$ tel que la trace des liens de N' dans \mathbb{R}^2 soit exactement celle des liens de N_0
- Tout centre de est un noeud de N
- Proportion fixe entre activités : pour tout $1 \leq i \leq N_c$, $Card\{a_j = i\} = k_i$ constante (contrainte arbitraire mais nécessaire pour limiter la taille de l'espace d'exploration)

Vu la taille de l'ensemble des configurations (au moins $\mathbb{R}^{2c_{max}} \times [|1; N_a|]^{c_{max}}$ en ne comptant seulement les positions des centroides), il est nécessaire d'utiliser une heuristique d'exploration cohérente : nous proposons d'utiliser un algorithme génétique simple multi-objectif, assez efficace dans ce type de situation (voir par exemple [16] pour des exemples de GA multi-objectifs).

On suppose donnée la fonction heuristique de croisement $CR : \mathcal{C} \times \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{C}$ qu'on implémente de manière concrète de la façon suivante : étant donné C_1, C_2 , on définit $CR(C_1, C_2)$ de la manière suivante : on conserve un certain nombre de centres "fixes", c'est à dire ceux communs à toutes les configurations initiales, et qui correspondent à une fonctionnalité fixe : la gare. On sélectionne de manière aléatoire des centres dans chacune des configurations, en conservant l'exigence de proportion. On reconstruit un réseau via un algorithme de connexionification entre les centroides et à la trame structurante.

Pour simplifier, on considère qu'on ne fait pas de mutation des configurations, et on veillera pour cela à partir d'un assez grand nombre de configurations initiales aléatoires à la première itération de l'algorithme.

On se suppose données les fonctions objectifs normalisées à minimiser, sur lesquelles on réalise l'optimisation : $F = (F_i : \mathcal{C} \rightarrow [0, 1])_{1 \leq i \leq N}$ et on définit le front de Pareto d'un ensemble de points $\mathcal{C}_0 \subset \mathcal{C}$ de la manière forte :

$$\mathcal{P}_F(\mathcal{C}_0) = \{C \in \mathcal{C}_0 \mid \forall C' \neq C, \exists i_0 \in [|1; N|], F_{i_0}(C) < F_{i_0}(C')\}$$

L'algorithme est alors défini comme une suite croissante \mathcal{G}_n d'ensembles de configurations, de la manière suivante, avec e fonction d'échantillonage aléatoire d'un ensemble fini,

$$\begin{cases} \mathcal{G}_0 \subset \mathcal{C} \text{ aléatoire de cardinal fini} \\ \mathcal{G}_{n+1} = \mathcal{G}_n \cup \{CR(e(\mathcal{P}_F(\mathcal{G}_n)), e(\mathcal{P}_F(\mathcal{G}_n)))\} \end{cases}$$

2.3.3 Fonctions objectifs

On se place dans le cadre d'une optimisation bi-objectif, et les fonctions de qualité urbaine que nous proposons sont calculées de manière bottom-up à partir d'une configuration fonctionnelle prise comme configuration initiale.

Potentiel d’accessibilité Comme proposé et implémenté dans [17], un modèle hybride couplant un automate cellulaire et un réseau dynamique permet de simuler la croissance urbaine en fonction de variables explicatives intrinsèques liées à la forme urbaine (par exemple distance aux centres urbains) et aux fonctions urbaines (par exemple accessibilité des fonctions). Ainsi, une configuration initiale représente un certain potentiel de développement de la zone urbaine, exprimé par les résultats de la simulation. Parmi les indicateurs utilisés comme sortie du modèle, l’un est particulièrement intéressant dans notre cas, car il représente la performance en terme d’accessibilité fonctionnelle : l’indicateur donne la distance “moyenne” (au sens d’une norme qu’on peut faire varier, mais considérons qu’il s’agit d’une moyenne classique pour simplifier) à l’ensemble des activités, agrégée et normalisée sur l’ensemble des agents, qu’il faut minimiser pour optimiser l’accessibilité aux activités. Notons $A(C_0)$ l’évaluation de cette fonction sur une configuration C_0 fixée.

Potentiel de ségrégation économique Il a été prouvé récemment par Banos dans [18] que le modèle classique de ségrégation de Schelling ([19]) était fortement sensible à sa distribution spatiale lorsque celui-ci était réparti au sein d’un réseau euclidien. De cette manière il serait possible de définir un indicateur exprimant le potentiel de ségrégation spatiale d’une distribution résidentielle donnée, possibilité qui a été explorée dans [17]. On peut calculer cet indicateur sur une forme urbaine générée par le précédent modèle, et définir ainsi une fonction de potentiel de segregation économique, également à minimiser, $E(C_0)$.

On arrête l’algorithme après un certain temps raisonnable de calcul n_{max} , et le front de Pareto au sens de ces objectifs est alors $\mathcal{P}_{(A,E)}(\mathcal{G}_{n_{max}})$. Il est important de noter que le calcul des fonctions objectifs nécessite un certain nombre de répétitions, vu le caractère stochastique de certains éléments du modèle. Le nombre nécessaire de répétitions pour un intervalle de confiance à 95% est de l’ordre d’une dizaine, et est intégré dans l’implémentation originale du modèle.

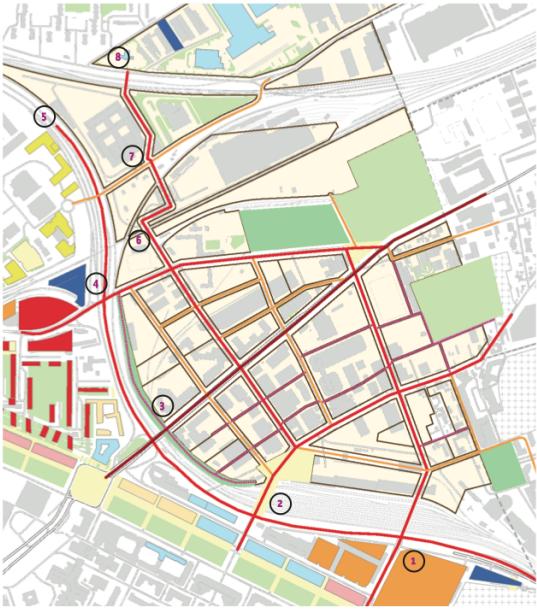
2.3.4 Résultats

En partant d’une image Raster de la zone, on extrait la trame viaire ainsi que les zones associées permettant la couverture de la zone, par un traitement via SIG ([20]), ce qui permet d’exporter à un format utilisable par l’implémentation de l’algorithme (en l’occurrence un format shapefile). La figure 13 montre la carte initiale de la zone et un exemple de configuration possible.

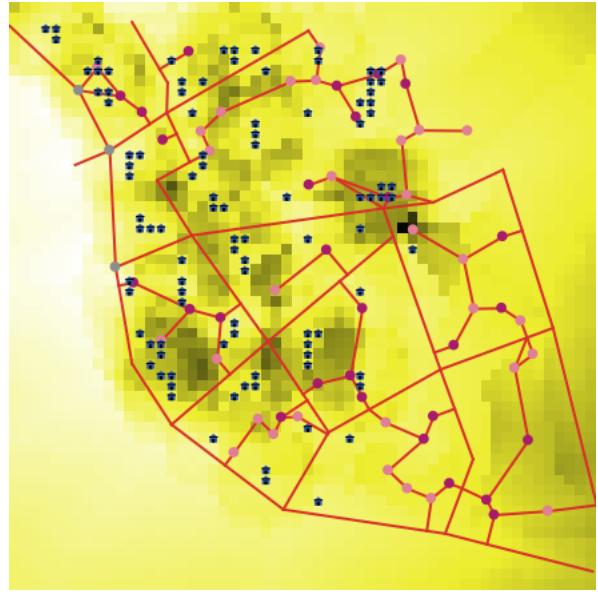
L’algorithme génétique a été implémenté en langage NetLogo ([21]), comme une extension du modèle implémenté dans [17] (code source du modèle initial et de l’extension disponible en ligne²). L’initialisation du modèle prend en compte les couches géographiques pour les sous-zones et la trame structurante du réseau, ainsi qu’une couche pour les centroides “fixes”, c’est à dire trois points correspondants à l’implantation de la future gare. On lance ensuite l’algorithme avec un ensemble de 200 configurations initiales générées de manière aléatoire, contenant chacune les trois centroides fixes de la gare, et une égale proportion de centroides aléatoires pour les deux autres activités que sont le logement et les lieux de travail. La distance minimale est fixée à 100m, taille raisonnable pour des sous-îlots dans notre cas. La paramétrisation des modèles utilisés pour l’évaluation est la même que celle utilisée dans [17] pour un problème similaire mais dans le cas d’une exploration exhaustive d’un petit espace de configurations.

Un exemple de résultat obtenu après 1000 étapes de calcul est présenté en figure 14 : on montre la projection des configurations explorées dans le plan d’optimisation, et une configuration correspondant à un “compromis optimal” entre les deux objectifs, c’est à dire le point du front de Pareto le plus proche de l’origine (cette technique fonctionne en deux dimensions). On est ainsi en mesure de proposer un plan masse fonctionnel pour la zone, déterminé par l’algorithme d’optimisation des fonctions objectifs.

2. <https://github.com/JusteRaimbault/ProjetMasyt/tree/master/Models>

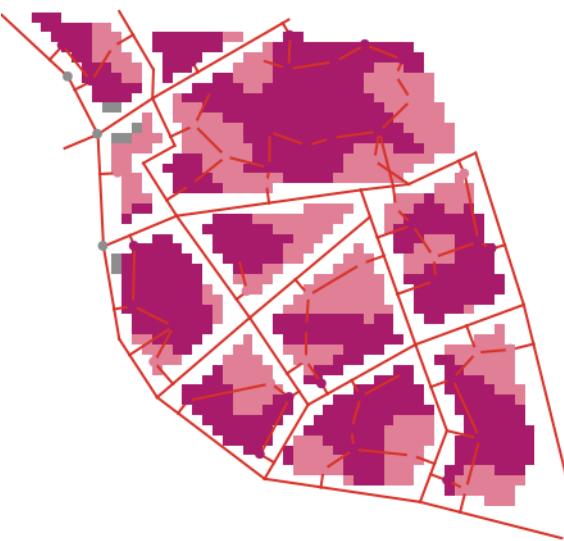


(a) Carte du quartier des Groues ayant fourni la trame viaire et les sous-zones (source [14])

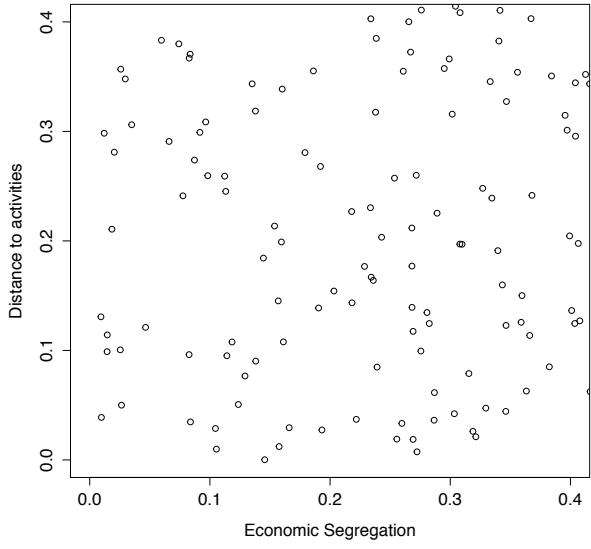


(b) Exemple de configuration. Les couleurs des centroides correspondent à leur fonction (gris gare, rose logements et violet lieu de travail); le réseau est visualisé par ses arcs en rouge; les couleurs de fond et les maisons sont associés à des variables et agents du modèle utilisé pour l'évaluation.

FIGURE 13: Initialisation de l'algorithme



(a) Configuration optimale : les zones de couleur déterminent le plan masse de répartition entre majorité de logements et majorité de lieux de travail



(b) Pareto plot

FIGURE 14: Résultat de l'algorithme

2.4 Synthèse du projet urbain

Nous avons jusqu'ici présenté la direction globale voulue par les acteurs locaux (mairie) pour la stratégie urbaine et présenté un exemple de détermination algorithmique de plan masse pour le quartier des Groues, dans le cadre d'une telle stratégie. Nous proposons de synthétiser le projet urbain global sous la forme d'une liste (non exhaustive) de possibles "faits urbains" du Nanterre de demain, qui est la suivante :

- Une ville redevenue homogène socialement et économiquement, une mixité sociale et fonctionnelle : rééquilibrage global
- Un important lieu d'activité économique, secondaire et tertiaire
- Des usines dans la ville : un maintien de l'activité secondaire, grâce à d'audacieuses requalifications et mixages des activités
- Une disparition des "coupures" urbaines
- Une ville qui reste agréable à vivre : contrôle de la densification, introduction d'espace verts et de vie

3 Etude de l'impact de l'implantation du Grand Paris Express

On est à présent en mesure de se demander le possible apport du GPE dans le développement du territoire. Les affectations pour les différents modes de transport sont faites via l'application d'un modèle à 4 étapes implémenté dans le SIG Transcad, et qui est une simplification du modèle MODUS³ développé et exploité par la Direction Régionale de l'Equipement d'Ile-de-France. Pour les trois premières étapes, le calcul de la matrice de gravité et des parts modales a été réalisé en TD pour 2005 et est donc considéré comme donné dans le cadre de projet. Pour 2030, les calculs sont faits automatiquement selon le nouveau scénario P+E que nous avons présenté précédemment injecté dans une macro Transcad fournie dans le cadre du projet. Concernant l'étape d'affectation, dans le cadre des transports en commun il s'agit uniquement d'un calcul de *betweenness-centrality* pondérée car on ne dispose pas de fonction simple reliant la congestion au coût pour l'utilisateur et on ne peut donc pas faire de calcul d'affectation à l'équilibre. Pour les transports routiers, un équilibre de Wardrop est possible à calculer car on peut relier vitesse et congestion, par exemple par la fonction "Bureau of Public Roads" pour laquelle les paramètres ont été calibrés pour l'ensemble des routes.

3.1 Motifs d'usage des transports en commun

Evolution des lignes de désir

Afin d'appréhender les évolutions de l'utilisation des transports en commun dues à l'implantation du Grand Paris Express, il faut déjà visualiser l'évolution des lignes de désirs des déplacements vers et depuis Nanterre, liée aux nouveaux flux O-D déduits du scénario pour 2030 et à l'apparition de nouvelles offres de transport. La figure 15 montre la comparaison pour les déplacements à destination de Nanterre. On constate l'augmentation de la quantité de déplacement, ainsi qu'un certain report modal grâce au GPE, report que nous allons étudier par la suite.

Evolution des parts modales

On représente en figure 16 les part modales des déplacements en provenance de Nanterre, obtenu par la troisième étape du modèle à quatre étapes, via un modèle logit. On constate un fort report de la voiture vers les transports en commun, notamment pour les communes situées dans le fuseau du GPE depuis Nanterre. Il s'agit d'un point positif pour notre zone, car cela suppose la réduction du nombre de

3. Documentation officielle : http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Documentation_MODUSv2-1-2_cle25e7bd.pdf

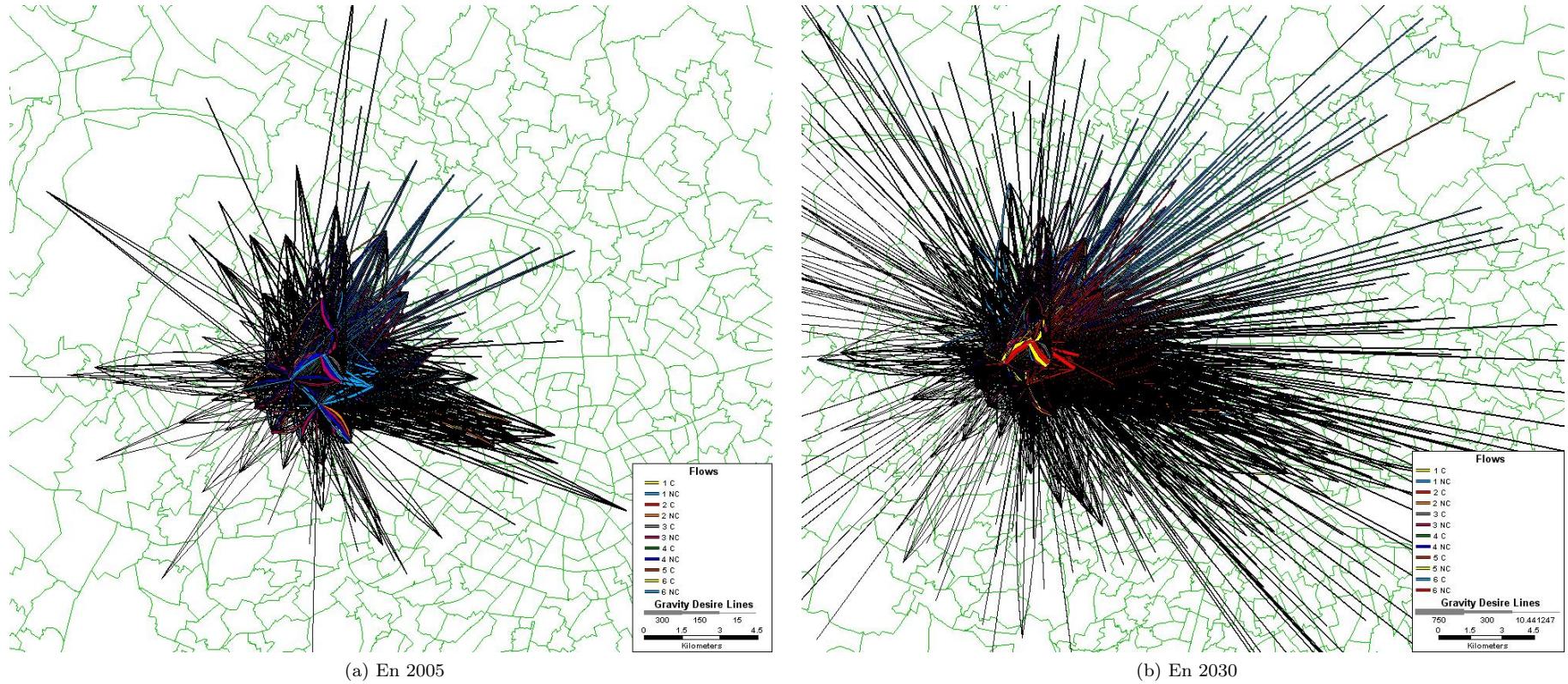


FIGURE 15: Evolution des lignes de désir des déplacements vers Nanterre (tous modes, classés de manière décroissante du réseau ferré lourd au mode doux). Le contraste de sélection des lignes est le même pour les deux années, ce qui confirme l'augmentation des déplacements. On constate également la forte demande en fréquentation de la nouvelle ligne du GPE en 2030

voiture en partance à l'heure de pointe du matin. Afin d'améliorer la lisibilité et le potentiel d'analyse, on a créé en figure 17 des zones d'aggrégation pertinentes selon les résultats de la première analyse, et on visualise les parts modales aggrégées dans ces zones, ce qui permet une meilleure compréhension.

Repartition des flux

Concernant les flux de voyageurs, on observe figure 18, comme attendu, une forte utilisation du GPE dans ses tronçons de petite couronne, en particulier à l'ouest ; cela traduit la forte demande en terme de déplacement internes à la proches banlieue, ce qui est une justification pour la construction de l'infrastructure. Pour la zone, la décongestion du RERA, permise par le GPE et le nouveau RERE, est une amélioration considérable.

Congestion des TC

On est en mesure de calculer la congestion des TC pour 2005 (figure 19) mais pas pour 2030, vu les données de capacité manquantes pour les nouvelles lignes. On peut supposer que la congestion sera moindre sur les lignes anciennes, vu la diminution des flux vue précédemment.

Impact sur les couts généralisés

La figure 21 montre la modification des motifs d'accessibilité au départ de la zone ; bien qu'on constate un élargissement des isochrones, les cartes sont difficilement lisibles, nous calculons donc pour cela la différence de coût généralisé entre 2005 et 2030, présentée en figure 22. La carte donne l'impression que de nombreuses zones sont en perte de temps, mais la visualisation de la distribution en figure 20 nous dit le contraire : la moyenne et la médiane sont supérieures à zéro, l'effet global est donc largement positif. L'explication de l'existence de zones pour lesquelles on a perte de coût est délicate, car elles existent même sans actualisation de la valeur du temps ; une vérification de l'heuristique de plus court chemin confirme l'existence de très faible différences pour le même itinéraire, il pourrait s'agir de modifications de vitesses commerciales dues à des modifications de fréquence des lignes, mais dans tous les cas la perte est négligeable. Il est très intéressant de constater, qu'en plus du gain certain dans le fuseau direct du GPE, on a un gain de temps considérable pour les destinations au départ des grandes gares parisiennes en transilien ou RER : on voit clairement apparaître le fuseau de Gare de Lyon, Montparnasse, Saint-Lazare, etc. Cela s'expliquerait par le fait que le GPE permet d'atteindre plus vite des noeuds permettant la correspondance avec ces trains, et augmente donc l'accessibilité de nombreux points de manière indirecte. Cette carte montre que le GPE est très bénéfique pour Nanterre en terme d'accessibilité. cela est du notamment à sa position névralgique dans le réseau.

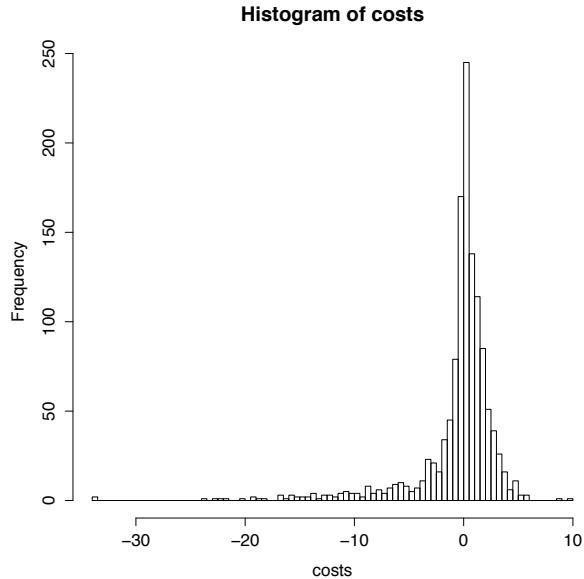


FIGURE 20: Distribution des gains de coûts

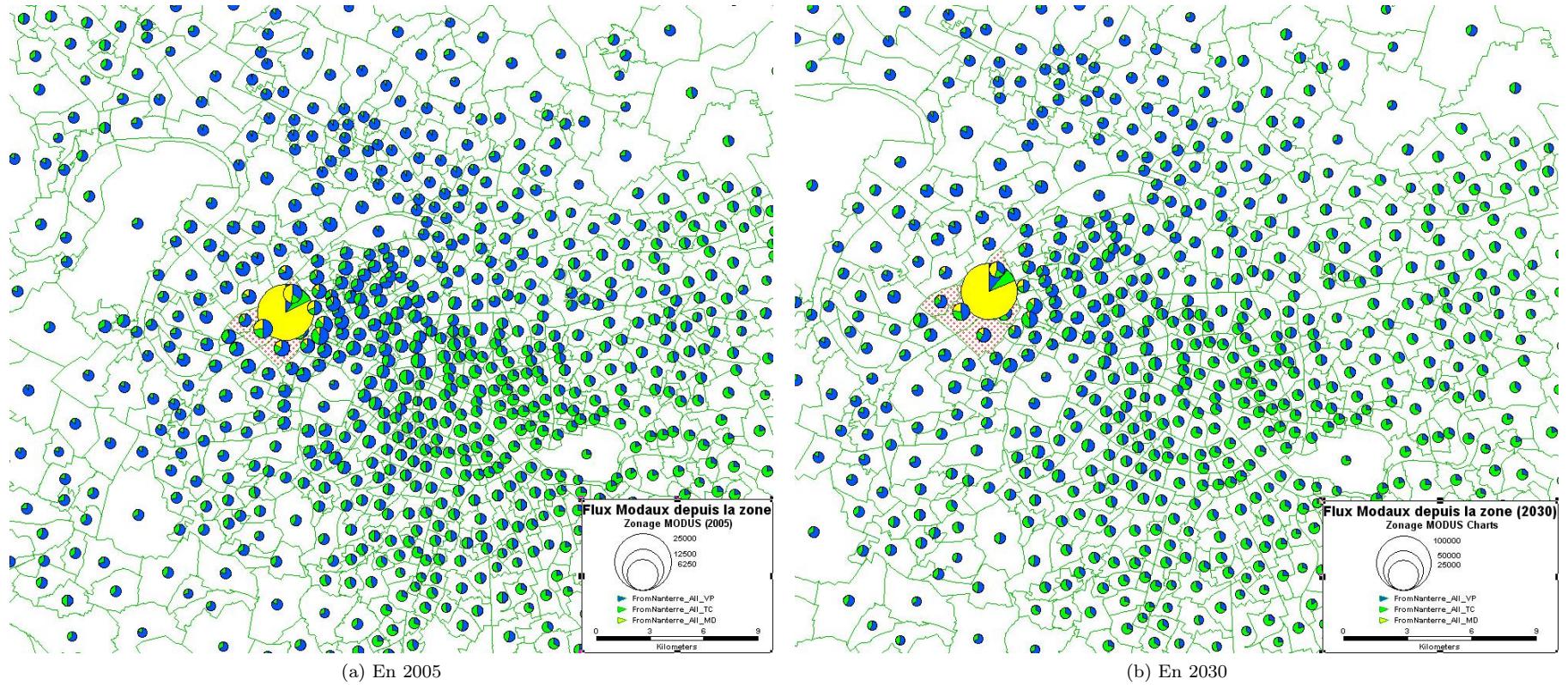


FIGURE 16: Evolution des parts modales en provenance de Nanterre vers les zones Modus avoisinantes. Malgré le manque de lisibilité de la carte, on observe une forte augmentation de la part des TC dans le fuseau du GPE, résultat attendu.

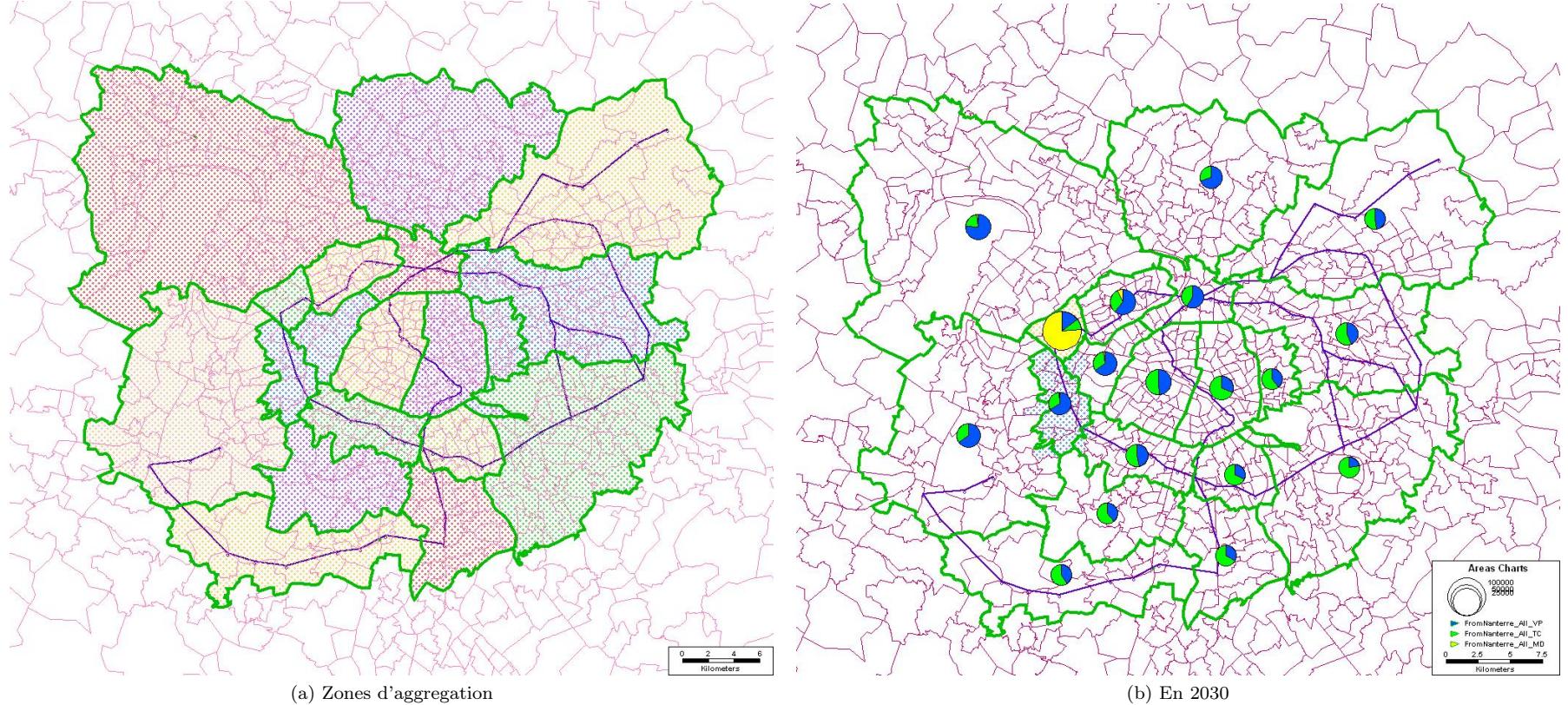


FIGURE 17: Parts modales en provenance de Nanterre visualisées en 2030 de manière aggrégées dans des zones de similarité. Un problème technique a conduit à une carte pour 2005 fausse, et nous devons donc comparer avec la carte non agrégée : on confirme tout de même clairement le fort report modal vers les TC dans le fuseau du GPE.

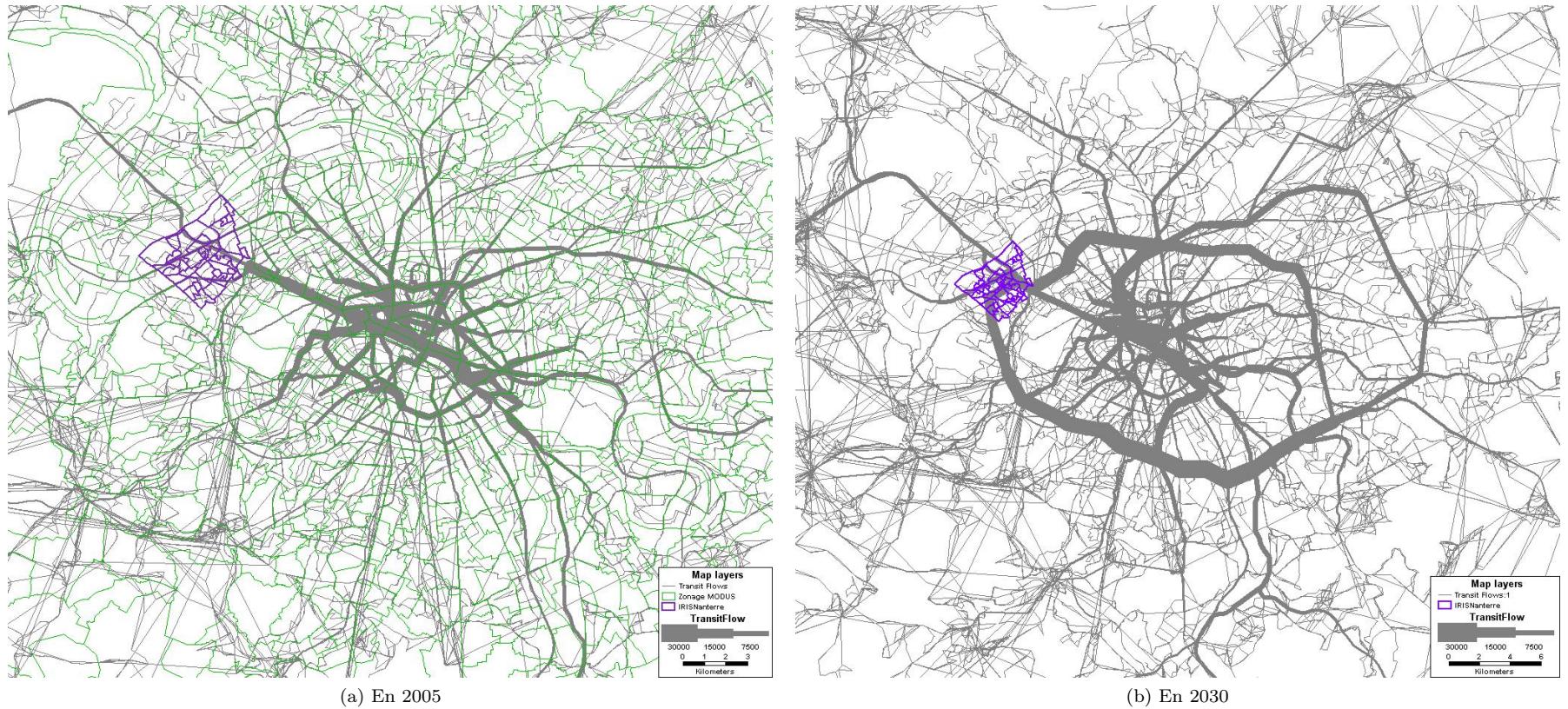


FIGURE 18: Evolution des flux de voyageurs dans les transports en commun. On observe la forte fréquentation du GPE, ce qui confirme l'existence d'une forte gravité pour les déplacements interne à la proche banlieue mais transitant par Paris, et justifie d'une certaine manière la construction de cette partie du réseau du GPE.

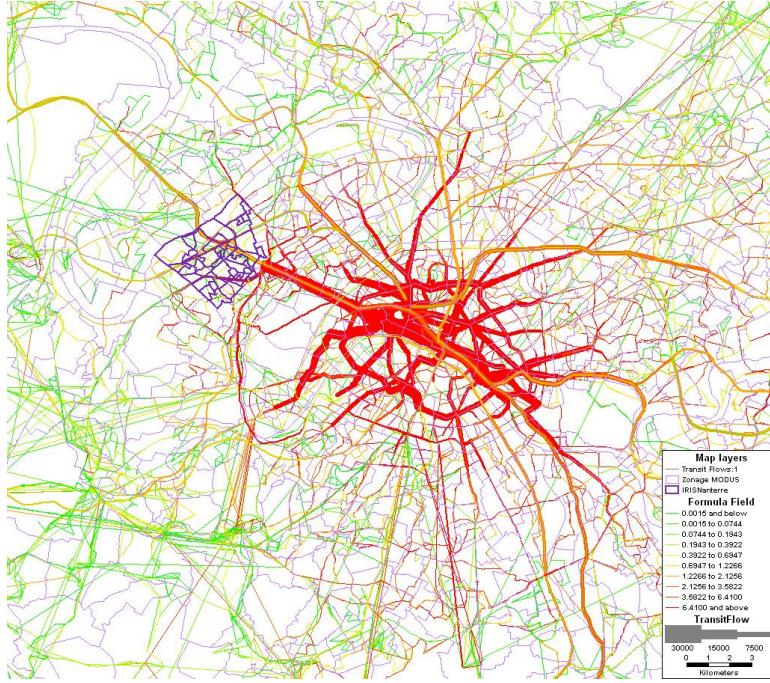


FIGURE 19: Congestion des TC en 2005

Impacts locaux : voyageurs aux stations

On représente en figure 22 les comptes de voyageurs montant et descendant aux stations. Malheureusement, il est peu possible d'obtenir une carte lisible et on ne peut tirer de conclusion, si ce n'est que certaines stations présentent une évolution considérable, telle Nanterre Université, sûrement à cause de l'utilisation de la nouvelle gare juste à côté.

Impacts locaux : flux piétons

Les tentatives de comparaison des flux piétons aux abords des stations sont restées infructueuses, montrant une limite de ce modèle, car il est trop aggrégué pour modéliser des flux piétons d'une manière précise. On pourra estimer un flux intégré entre deux points d'intérêt mais pas simuler la répartition des flux sur la chaussée et les choix d'itinéraires des piétons.

3.2 Autres impacts

3.2.1 Congestion routière

Une affectation du trafic routier a été effectuée en 2007 par une méthode de *User-equilibrium*, et montrait une forte congestion et fréquentation des axes autoroutiers majeurs au sein de la commune. Il aurait été intéressant, vu les reports modaux constatés ci-dessous grâce au GPE, de calculer l'affectation du trafic routier en 2030 pour la comparer, afin de voir si l'utilisation accrue des transports en commun pouvait avoir un effet positif sur la congestion routière.

Nous nous sommes cependant heurtés à un obstacle technique qui nous a empêché d'effectuer cette affectation : l'ouverture en 2009 du nouveau tronçon de l'autoroute A86, le fameux tunnel “Duplex”, entre Rueil et Versailles, permettant le bouclage de la deuxième rocade, a du considérablement modifier la répartition des flux dans la zone et de manière générale, et est donc d'intérêt majeur pour l'étude de

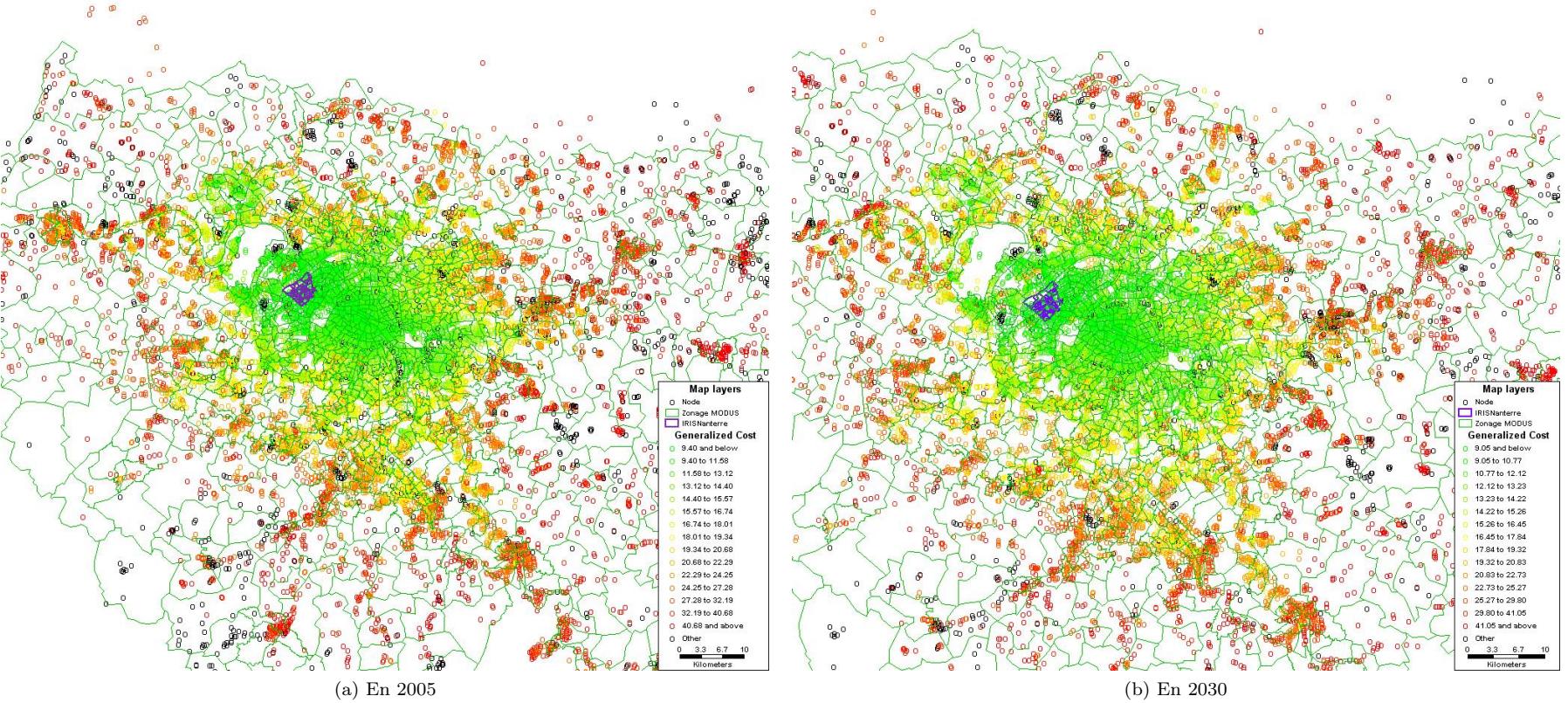


FIGURE 21: Motifs d'accès (en temps) au départ de Nanterre.

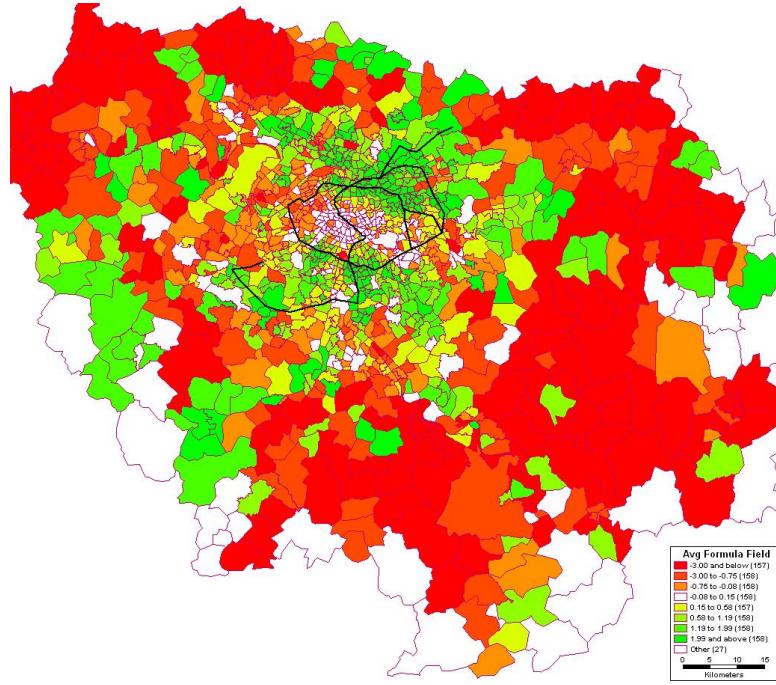


FIGURE 22: Gain en coût généralisé entre 2005 et 2030

notre zone. Il a été impossible d'obtenir un réseau routier fonctionnant pour 2030, incluant ce nouveau tunnel, malgré les tentatives de création de nouveau réseau en ajoutant ce tronçon et ses connecteurs aux arcs actifs, et nous ne sommes pas en mesure de mesurer l'impact commun du report modal et de l'ouverture du tunnel sur la congestion routière. Des observations de terrain et de données de trafic routier en ligne confirment le fait que l'A86 est toujours très problématique, et que le problème est loin d'être résolu.

3.2.2 Impacts sociaux, économiques, urbanistiques

Les modèles utilisés sont très limités dans le sens où ils n'intègrent pas de feedback sur l'usage du sol ou des activités économiques. On ne peut donc rien simuler en terme de retour économique, social ou urbanistique de l'implantation du GPE. Au contraire, on a donné ces aspects comme fixés par notre scénario et notre stratégie, afin de pouvoir procéder à des simulations du fonctionnement du futur système de transport. Dans le cadre d'une prospective scénarisée, notre démarche reste légitime.

Pour coupler les réseaux de transports aux motifs d'usage du sol, il faut utiliser un modèle de type LUTI, qui intègre les deux aspects. De tels modèles sont relativement performants et surtout sont opérationnels, au sens où leur calibration est possible pour de bonnes performances prédictives de situation réelles. Toutefois, ils restent basés sur une approche *top-down*, c'est à dire relativement aggrégés, même si le calcul de certains de leur modules est désaggrégué. En effet, un phénomène de type émergence faible (lire [22]) ne pourra pas être représenté par leur approche, qui externalise la majorité des processus essentiels. Au contraire, des modèles totalement désaggrégés, de type *bottom-up*, peuvent être en mesure d'endogénéiser certains phénomènes d'émergence, plus particulièrement en Sciences Sociales dans lesquelles la notion de complexité est centrale, comme le soutient BANOS dans [23]. Cette hypothèse est confirmée par le succès de la série de modèles Simpop résumée par PUMAIN dans [24]. Suivant BATTY dans [25], cette approche serait même indispensable pour intégrer réellement des aspects sociaux dans les modèles urbains.

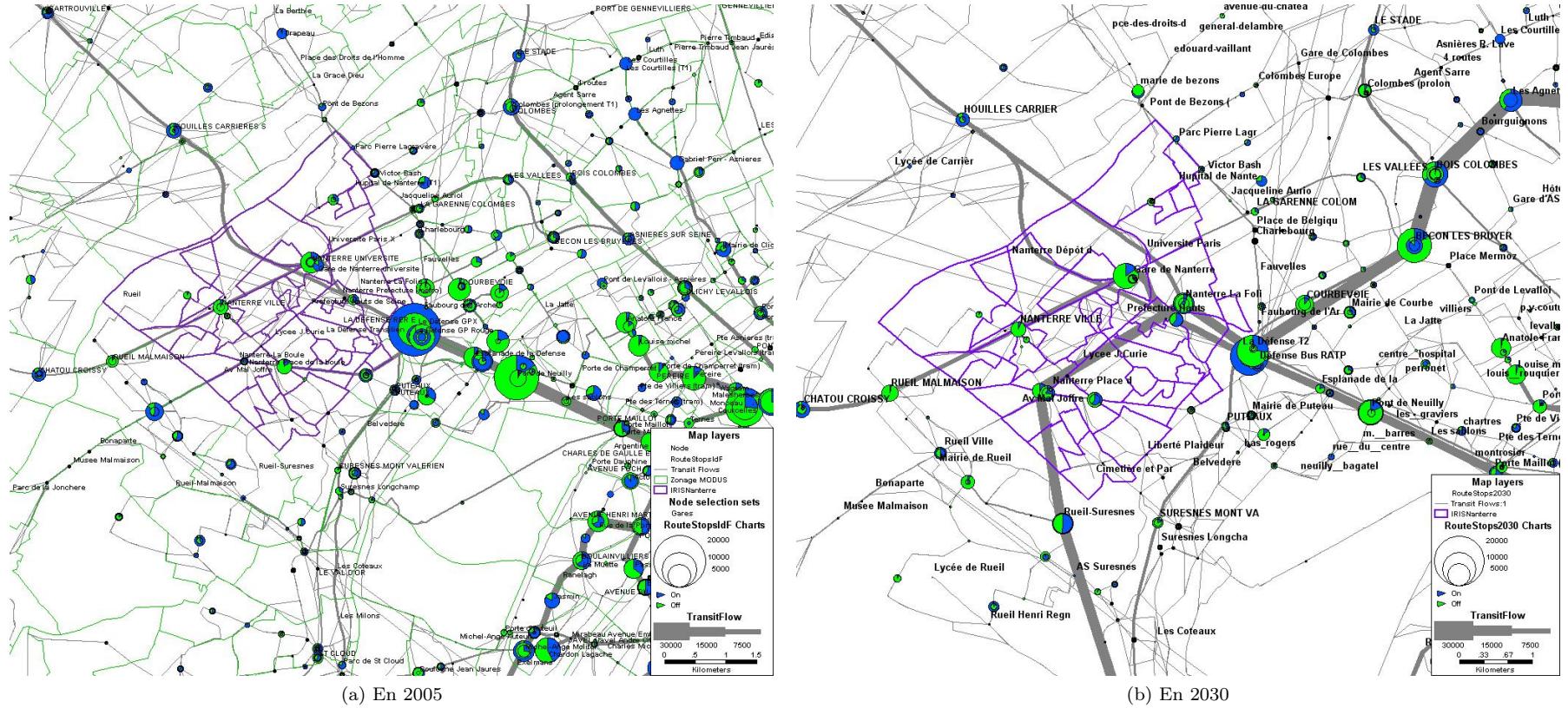


FIGURE 23: Comptes de voyageurs montant et descendant.

Conclusion

Nous avons donc étudié une zone très hétérogène, tant sur le plan morphologique que sur le plan socio-économique, dont le développement urbanistique, économique, démographique et sociologique devrait de manière quantitative et qualitative être poussé par l'arrivée du GPE. Nous avons proposé un scénario d'urbanisme cohérent puis une démarche originale de design d'un nouveau quartier, appliquée au cas particulier d'un quartier de notre zone. Concernant les impacts du GPE, nos projections restent toutefois limitées à la fois dans la validité des résultats (modèle basique) et dans leur étendue (pas de projections économiques ou démographiques émergentes par exemple, et encore moins d'aspects sociaux ou urbanistiques).

Nous avons donc mené une étude introductory au contenu propre tout de même riche, et ouvert la voie à de nombreux approfondissements dans le cadre concret de cette étude de cas ou dans un cadre théorique plus large, comme une réflexion épistémologique sur les différents types d'approche à la Science Urbaine, ou bien une étude des possibles développements en design ou planning de l'algorithme génétique d'optimisation.

Références

- [1] Florent Le Nechet. *Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes : cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr*. PhD thesis, Université Paris-Est, 2010.
- [2] Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. Rapport d'évaluation de l'université paris x - nanterre. février 2009.
- [3] Lefebvre Henri. Le droit à la ville. *Anthropos*, 1968.
- [4] David Mangin and Philippe Panerai. *Projet urbain*. Parenthèses, 1999.
- [5] Fatiha Dazi-Heni and Catherine Polac. Chroniques de " la vraie base". la constitution et les transformations du réseau associatif immigré à nanterre. *Politix*, 3(12) :54–69, 1990.
- [6] Dominique Badariotti. Le renouvellement urbain en france : du traitement morphologique à l'intervention sociale. 2006.
- [7] Mairie de Nanterre. Atlas socio-démographique et économique de la ville de nanterre. Technical report, 2013.
- [8] Louafi Bouzouina, Dominique Mignot, et al. Disparités de revenus à différentes échelles spatiales en france de 1985 à 2001. In *ASRDLF. Villes et territoires face aux défis de la mondialisation-XLIè colloque de l'ASRDLF, 5-7 septembre 2005, Dijon*, number Session H2 : Les territoires de la ségrégation, 2005.
- [9] INSEE. Rp. Technical report, Institut National de la Statistique, 2007.
- [10] Conseil Régional d'IDF. Sdrif 2013. Technical report, voté en octobre 2013.
- [11] Chris Couch, Olivier Sykes, and Wolfgang Börstinghaus. Thirty years of urban regeneration in britain, germany and france : The importance of context and path dependency. *Progress in Planning*, 75(1) :1–52, 2011.
- [12] Mairie de Nanterre. Plaquette "nanterre agit pour son avenir", présentation des projets urbains. Technical report, 2013.
- [13] David Mangin. *La ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine*. Éditions de la Villette Paris, 2004.
- [14] Mairie de Nanterre. Plaquette de projet pour le quartier des groues. Technical report, 2013.

- [15] Ammar A Malik, Andrew T Crooks, and Hilton L Root. Can pakistan have creative cities ? an agent based modeling approach with preliminary application to karachi. *IFPRI, PSSP Working Paper*, 2014.
- [16] Eckart Zitzler and Lothar Thiele. Multiobjective evolutionary algorithms : A comparative case study and the strength pareto approach. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 3(4) :257–271, 1999.
- [17] Juste Raimbault. Generative coupled model for urban configuration optimisation. *submitted to 4th ICCSA Conference, june 2014, manuscript available at https://git-thub.com/JusteRaimbault/project/raw/master/Docs/Final/CSMSFinal_Paper_Raimbault.pdf*, 2014.
- [18] Arnaud Banos. Network effects in schelling’s model of segregation : new evidences from agent-based simulation. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 39(2) :393–405, 2012.
- [19] Thomas C Schelling. Models of segregation. *The American Economic Review*, 59(2) :488–493, 1969.
- [20] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, 2009.
- [21] U. Wilensky. Netlogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL., 1999.
- [22] Mark Bedau. Downward causation and the autonomy of weak emergence. *Principia : an international journal of epistemology*, 6(1) :5–50, 2002.
- [23] Arnaud Banos. *Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en Géographie et SHS*. PhD thesis, UMR CNRS Géographie-Cités, ISCPiF, Décembre 2013.
- [24] Denise Pumain. Multi-agent system modelling for urban systems : The series of simpop models. In *Agent-based models of geographical systems*, pages 721–738. Springer, 2012.
- [25] Michael Batty. *The New Science of Cities*. MIT Press, 2013.

Source des illustrations de couverture : *Transports à Nanterre en 2025, Société du Grand Paris* (www.societedugrandparis.fr/gares/nanterre-la-folie) ; *Nanterre, les Bidonvilles - Entretien avec Monique Hervo, Musée national de l'immigration* (extrait de <http://www.histoire-immigration.fr/musee/collections/entretien-avec-monique-hervo>) ; *Projet pour la gare de la Folie, Blog des habitants du quartier du parc à Nanterre* (<http://www.central-parc.fr/2011/10/17/1ere-ebauche-de-la-triple-gare-nanterre-la-folie/>)

Note : Toutes les cartes ou graphiques sont de réalisation personnelle via Transcad, QGIS, R ou NetLogo lorsqu’aucune source n'est précisée. Les données utilisées sont celles mises à disposition dans le cadre du projet ou provenant des documents annexes évoqués le cas échéant.