Méthode pour l'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires : Approche par la modélisation fonctionnelle d'un objet technique urbain

Marina Fund

▶ **To cite this version:**

Marina Fund. Méthode pour l'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires : Approche par la modélisation fonctionnelle d'un objet technique urbain. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2016. Français. NNT : 2016PESC1178 . tel-01539549

HAL Id: tel-01539549

https://theses.hal.science/tel-01539549

Submitted on 15 Jun 2017

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.

UNIVERSITÉ PARIS-EST

Thèse de doctorat, Université Paris Est
Spécialité : Génie Urbain

Méthode pour l'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires.

Approche par la modélisation fonctionnelle d'un objet technique urbain

Marina Fund Maurin
thèse dirigée par Youssef Diab
co-encadrée par Katia Laffréchine et Denis Morand

soutenue le 2 mai 2016

Jury :

Examinateur	Becue Vincent	Professeur à l'université de Mons
Président du jury et Rapporteur	Buyle-Bodin François	Professeur à l'université de Lille 1
Examinateur	Laffréchine Katia	Maître de conférences à l'université Paris-Est
Examinateur	Le Gauffre Pascal	Maître de conférences à l'INSA Lyon
Examinateur	Morand Denis	Maître de conférences à l'université Paris-Est
Rapporteur	Peyras Laurent	Professeur IRSTEA / Université Aix Marseille
Membre invité	Moussard Michel	ARCADIS et coordonnateur du projet CANOPEE

Résumé

Les couvertures d'infrastructure de transport en milieu urbain sont des opérations urbaines répondant à un certain nombre de problématiques de politique publique relatives à des questions urbaines, foncières, etc. Elles s'attachent notamment à la résorption et au traitement de l'effet de coupure et autres nuisances générées par la présence de grands linéaires routiers ou ferroviaires au sein d'un tissu urbain dense. Ces interventions, résolument complexes, souffrent de l'absence de cadre spécifique et d'un manque de vision globale.

Afin de proposer des méthodes et des outils d'évaluation des couvertures d'infrastructures en milieu urbain aux acteurs concernés par ces projets, ce travail de doctorat élabore une méthode fondée sur une approche systémique. La modélisation fonctionnelle permet d'intégrer la complexité que représente le système couverture d'infrastructure dans son contexte urbain et de formaliser les interactions caractérisant le système, les hiérarchiser et y associer des méthodes d'évaluations. Le travail de modélisation, dans sa phase de validation, est mené sur plusieurs couvertures, concernant des typologies d'infrastructures différentes et de contextes urbains contrastés. Des perspectives d'évaluation sont alors envisagées sur la base du modèle fonctionnel obtenu.

Mots clés : Couvertures urbaines, Nuisances, Modélisation systémique, Analyse fonctionnelle, Évaluation

Abstract

Structural covers for transport infrastructures in an urban environment answer to public policy issues relating to urban questions, real estate questions, etc. They adress in particular the absorption and processing of the barrier effect and other nuisances generated by the presence of large road or rail linear within a dense urban fabric. These interventions, resolutely complexes, suffer from the absence of a specific framework and a lack of overall global vision.

In order to propose methods and tools for urban structural cover assessment to the actors affected by these projects, this PhD work thesis develops a method based on a systemic approach. Functional modeling allows to integrate the complexity that represents the system infrastructure cover in its urban context, and to formalize the interactions that characterize the system, to prioritize them and to associate them evaluation methods. The modeling work in its validation phase is conducted on several structural covers, concerning different infrastructure types and contrasting urban contexts. Some perspectives of assessment are considered, based on the obtained functional model.

Keywords : Urban structural cover, Nuisances, Systemic modelling, Functional analysis, Assessment

Remerciements

« *Rien ne vaut la recherche lorsqu'on veut trouver quelque chose* » J.R.R Tolkien

La thèse est une aventure ! Aussi bien professionnelle que personnelle. Il s'agit d'une quête scientifique rythmée d'explorations bibliographiques, de multiples péripéties et rebondissements méthodologiques. Mon aventure de thèse doit son accomplissement à tous ceux qui ont contribué à l'écrire que ce soit par des échanges, des séances de travail ou simplement par des présences rassurantes et amicales. Pour cela il me parait indispensable de débuter ce manuscrit en remerciant tous ceux qui m'ont accompagné.

Mes tous premiers remerciements vont à Katia Laffréchine et Denis Morand. Ils ont été mes encadrants durant ces trois ans et demi. Leurs conseils, leur écoute, leur disponibilité et leur sympathie m'ont permis de mener ce travail sereinement et dans une ambiance très agréable. Ils m'ont beaucoup apporté et je leur adresse toute ma reconnaissance.

J'adresse mes remerciements à Youssef Diab, mon directeur de thèse.

Je remercie François Buyle-Bodin, Laurent Peyras, Pascal Le Gauffre et Vincent Bécue d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse. Je les remercie pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Je remercie également Michel Moussard, pilote du projet ANR CANOPEE et également membre invité du jury, pour avoir porté un regard constructif sur ma recherche. J'en profite pour remercier l'ensemble des membres du projet CANOPEE avec qui j'ai pu entretenir des échanges très enrichissants.

Cette aventure s'est déroulée au sein de l'équipe Génie Urbain du Lab'Urba. Équipe est un faible mot pour traduire la cohésion et l'ambiance chaleureuse qui l'anime. Pour cela, je remercie chacun d'entre vous : Professor Serge Bethelot, Joël Idt, Margot Pellegrino, Gilles Hubert, Bruno Yvin, Bruno Barroca, Thomas Bonierbale, Hélène Béraud, Aminata Sabara, Raymonde Rousseau, Estelle De Luca, Abboud Hajjar, Christelle Laval, et Sandra Fèvre. Je leur suis sincèrement reconnaissante pour leur bonne humeur et leurs conseils. Je remercie également Didier Allaire qui a fortement contribué à l'avancement de mon travail au travers de longues discussions extrêmement intéressantes.

J'adresse une pensée toute particulière pour les doctorants de l'équipe : Maxime, Michaël, Simon, Gabrielle je vous souhaite plein de courage pour finir vos travaux. Charles, merci pour ta bonne et ta mauvaise humeur ! Nos séances de « raleurs » vont me manquer.

Et enfin ... Maryline, ma pote ! Je te remercie en tant que doctorante mais surtout en tant qu'amie. Une longue histoire de MnMs depuis notre commando de croissants qui n'est pas prête de s'arrêter.

Ce travail doit effectivement beaucoup à mes proches qui m'ont soutenu, encouragés, subi, et permis de décompresser.

Je remercie Jim, Michelle, Sandra, et Jerem pour tous ces moments formidables passés avec vous, en escapade (avec ou sans mouette), sur un ponton ou simplement dans un de nos salons. Je remercie également le groupe des « presque » chimistes : Dany, Nadia, Hélène, Cyril, Guillaume, Guillaume, Amélie et Lylian. Merci pour ces soirées, et weekend de décompression. Merci également pour vos encouragements ! Mes remerciements vont également au clan des géomaticiens : Mickaël, Nathalie et Bertrand, qui m'ont soutenu depuis le master. Merci à Damien, et tous ses e-encouragements et ses « holas » numériques ! Mathilde, retrouvée depuis peu et qui me transmettait sa bonne humeur lors de mes derniers mois de rédaction (même pas mal à l'épaule !).

Je tiens également à remercier Gustave mon palmier, qui a su rester à l'écoute lors de mes longues heures de rédaction, sans jamais me contredire.

J'adresse de sincères remerciements à ma famille et en particulier mes parents. Merci à ma maman (et ses escapades parisiennes !) qui n'a cessé de croire en moi et d'être rassurante. Merci à mon papa (et ses pauses ludiques !) qui a toujours été présent et réconfortant. J'ai beaucoup de chance de vous avoir tous les deux.

Un grand merci à la tribu Maurin qui m'a motivé à base de Spritz et de côtes de bœuf.

Et le meilleur pour la fin ! Merci de tout cœur à Antoine ! Merci pour ton soutien sans faille et pour la force que tu me donnes (Krom !). Grâce à toi je peux affronter n'importe quelle aventure !

Aujourd'hui, j'ai achevé ma quête de thèse, alors à vous tous : Merci !

Table des matières

Table des matières v

Introduction Générale 3

1 Les coupures générées par les grandes infrastructures de transport en milieu urbain 9

1.1 La coupure urbaine . . . 10

1.1.1 Qu'est-ce que la coupure ? . . . 10

1.1.1.1 Définition de la coupure et débat sémantique . . . 10

1.1.1.2 Typologie de la coupure . . . 11

1.1.2 Causes de la coupure . . . 15

1.1.2.1 Une coupure induite involontairement . . . 15

1.1.2.2 La coupure engendre la coupure : une adaptation de la ville . . . 15

1.1.3 Les effets de la coupure en milieu urbain . . . 17

1.1.3.1 Des effets sur les déplacements . . . 17

1.1.3.2 Des effets de discontinuité urbaine . . . 20

1.1.4 Les infrastructures de transport : des coupures paradoxales en questionnement . 21

1.2 Infrastructures de transport en milieu urbain . . . 22

1.2.1 Comment les grandes infrastructures de transport se sont invitées en ville ? . . . 22

1.2.1.1 Les voies ferrées : une nouvelle appréhension du territoire et de la mobilité . . . 22

1.2.1.2 L'apparition des autoroutes urbaines en ville : adapter la ville à la voiture . . . 23

1.2.1.3 Le constat des grandes infrastructures de transport aujourd'hui . . 24

1.2.2 Les infrastructures de transport : éléments d'un réseau urbain . . . 25

1.2.2.1 Un réseau urbain d'infrastructures . . . 25

1.2.2.2 Les interdépendances entre ville et infrastructures de transports . . 27

1.2.3 Les infrastructures perçues comme des "monstres urbains" . . . 30

1.2.3.1 Une perception locale fortement négative . . . 30

1.2.3.2 Une emprise forte au sein du tissu urbain . . . 32

1.2.3.3 Infrastructures et formes urbaines : deux objets distincts pour deux échelles, deux vitesses . . . 33

1.3 La question du traitement des infrastructures au sein des espaces urbains traversés . 33

1.3.1 Modifier l'infrastructure pour réduire le problème . . . 34

1.3.1.1 Modifier l'image de l'infrastructure . . . 34
1.3.1.2 Déplacer le problème : les contournements . . . 34
1.3.1.3 Retour à une voirie partagée : transformation en boulevards urbains 35
1.3.2 Agir ponctuellement en frange de l'infrastructure . . . 37
1.3.2.1 Mise en place de petits aménagements ponctuels . . . 37
1.3.2.2 Tourner le dos à l'infrastructure . . . 37
1.3.3 L'insertion par la verticalité . . . 38
1.3.3.1 Urbanisme de dalle : superposer et séparer les flux . . . 38
1.3.3.2 Urbanisme souterrain : utiliser le sous-sol comme ressource . . . 39
1.3.3.3 Une réponse ponctuelle : la couverture . . . 41

2 Les couvertures d'infrastructures de transport terrestre en milieu urbain 43
2.1 Exploitation d'une base de données pour l'étude des couvertures . . . 44
2.1.1 Étude de la base de données de couvertures . . . 44
2.1.2 Focus sur l'Ile de France . . . 45
2.2 Les couvertures : des objets techniques 47
2.2.1 Définition des couvertures d'infrastructures de transports terrestres . . . 47
2.2.1.1 Les couvertures légères . . . 48
2.2.1.2 Les couvertures lourdes . . . 49
2.2.1.3 Une structure lourde particulière : les immeubles ponts . . . 51
2.2.2 Entre couverture et tunnel . . . 52
2.2.3 Des défis techniques . . . 53
2.2.3.1 S'insérer dans un contexte urbain dense . . . 53
2.2.3.2 Composer avec la topographie . . . 55
2.2.3.3 La question contraignante du choix des appuis . . . 55
2.2.3.4 Assurer un maintien de service de l'infrastructure lors de la mise en œuvre . . . 56
2.3 ... au cœur de projets urbains . . . 56
2.3.1 Des projets de couverture dans une optique de renouvellement urbain . . . 56
2.3.2 La couverture comme couture urbaine . . . 57
2.3.3 Relation dessus/dessous . . . 59
2.3.4 Création d'un sol artificiel : la couverture comme potentiel foncier . . . 59
2.4 Retours d'expérience . . . 60
2.4.1 Un manque de vision globale et complexité des projets de couverture . . . 60
2.4.2 Un manque de méthode et d'outils d'évaluation pour les acteurs des projets de couvertures . . . 61

3 Définition d'un système couverture 65
3.1 La couverture d'infrastructures de transports en milieu urbain : un objet technique compliqué dans un environnement urbain complexe . . . 66
3.2 L'approche systémique pour la construction d'un modèle global urbain de couverture 67
3.2.1 L'approche systémique pour répondre à la complexité . . . 67
3.2.1.1 Retour sur les origines de la systémique . . . 67

3.2.1.2 Les principes fondamentaux de la systémique . . . 68
3.2.1.3 Vers un modèle global de couverture . . . 70
3.2.2 Définir et modéliser le système couverture . . . 70
3.2.2.1 La modélisation systémique . . . 70
3.2.2.2 Définition d'un système urbain de couverture . . . 72
3.3 Définition structurale du système urbain de couverture . . . 72
3.3.1 Périmètre du système . . . 72
3.3.2 Composition structurale du système : une architecture territorialisée . . . 73
3.3.2.1 Un territoire comme ancrage du système . . . 73
3.3.2.2 Espace urbain et populations . . . 75
3.3.3 Spécification de l'espace urbain . . . 76
3.3.3.1 Spécification par typologie d'usage / d'activité des populations . . . 76
3.3.3.2 Espace mobile . . . 79
3.3.3.3 Espace habité . . . 80
3.3.3.4 Espace actif . . . 80
3.3.3.5 Espace équipé . . . 81
3.3.4 Différents niveaux de granularité pour différents niveaux de détail . . . 81
3.3.5 Gestion des redondances . . . 82
3.3.6 Visualisation concrète de la spécification de l'espace . . . 83
3.3.7 Proposition de formalisation du système et suite de la méthode . . . 86

4 Finalité du système : la couverture en réponse à un conflit 91
4.1 Première appréhension fonctionnelle du système . . . 92
4.1.1 Le système urbain de couverture et finalité . . . 92
4.1.2 Des nuisances comme motivation des projets de couverture . . . 93
4.1.3 Introduction au concept de nuisance et typologie . . . 95
4.1.4 Processus Nuisance/Gêne . . . 95
4.1.5 Modélisation du processus Nuisance/Gêne . . . 96
4.1.6 Identification du conflit par modélisation . . . 98
4.1.6.1 Les modèles conceptuels de données . . . 98
4.1.6.2 Formalisme NIAM . . . 98
4.1.7 Application des modèles au processus Nuisances/Gênes . . . 99
4.1.8 Couvertures et conflit . . . 102
4.2 Analyse fonctionnelle : une méthode systémique pour déterminer la finalité du système urbain de couverture et en faire la description fonctionnelle . . . 104
4.2.1 Analyse fonctionnelle : définitions et principes . . . 104
4.2.1.1 L'analyse fonctionnelle : une méthode systémique empruntée à l'analyse de la valeur . . . 104
4.2.1.2 Définition de l'analyse fonctionnelle . . . 105
4.2.1.3 Processus d'analyse fonctionnelle . . . 105
4.2.2 Les méthodes d'analyse fonctionnelle . . . 106
4.2.3 La méthode APTE : Définition générique . . . 108

4.3 Application de l'analyse fonctionnelle au système urbain de couverture : Recherche de la finalité . . . 109
4.3.1 A qui profite la couverture ? . . . 109
4.3.2 Sur quoi agit la couverture ? . . . 111
4.3.3 Quelle finalité de la couverture ? . . . 112
4.3.3.1 Résoudre le conflit de cohabitation par la conciliation . . . 112
4.3.3.2 Résultat de l'application de la méthode . . . 112

5 Analyse fonctionnelle du système urbain de couverture : détermination des fonctions de la couverture dans son système 117
5.1 Le système urbain de couverture fonctionne pour créer un service de conciliation urbaine 118
5.1.1 Le fonctionnement du système guidé par sa finalité . . . 118
5.1.2 L'analyse fonctionnelle (externe) pour définir ce fonctionnement . . . 118
5.1.2.1 L'analyse fonctionnelle interne et externe . . . 118
5.1.2.2 La méthode APTE : le diagramme pieuvre . . . 119
5.1.3 La fonction au cœur du mécanisme interactif du système . . . 119
5.1.3.1 Différence entre approche fonctionnelle et approche fonctionnaliste 121
5.2 Identification des interactions : Analyse fonctionnelle externe de la couverture . . . 122
5.2.1 Analyse fonction interne de la couverture . . . 122
5.2.2 Analyse fonctionnelle externe de la couverture . . . 123
5.2.3 Fonctions principales de la couverture . . . 123
5.2.4 Fonctions de contraintes de la couverture . . . 125
5.2.5 Déclinaison et hiérarchisation des fonctions . . . 127
5.2.6 Description des fonctions . . . 128
5.2.6.1 Créer une proximité entre les espaces . . . 130
5.2.6.2 Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure . . . 136
5.2.6.3 Créer du foncier . . . 138
5.2.6.4 Assurer le confort des populations . . . 140
5.2.6.5 Assurer l'efficience de l'infrastructure . . . 142
5.2.7 Mise en place du jeu de fonctions et construction d'une grille . . . 143
5.3 Structuration des fonctions : approche qualitative de l'évaluation des couvertures . . . 144
5.3.1 Lecture de la grille de fonctions à travers des matrices d'interaction . . . 144
5.3.2 Deux périmètres : deux niveaux d'action . . . 145
5.3.3 Deux types d'action des couvertures . . . 146
5.3.4 Un rôle prépondérant de structuration à l'échelle du projet . . . 149
5.4 Réflexion sur une évaluation quantitative des couvertures d'infrastructure . . . 151
5.4.1 Intérêt de l'évaluation quantitative . . . 151
5.4.2 Formalisation des critères et indicateurs . . . 152
5.4.3 Construction d'un catalogue de fonctions et critères associés . . . 153

6 Études de cas qualitatives : Application de l'analyse fonctionnelle sur Porte d'Italie et Rubi 161

6.1 Phase de test et de validation de la méthode . . . 162
6.1.1 Une application nécessaire pour l'ajustement et la validation de la méthode . . . 162
6.1.2 Une double démarche de validation de la méthode . . . 162
6.1.3 Choix et présentation des cas d'étude . . . 163
6.1.3.1 Deux cas d'étude complémentaires . . . 163
6.1.3.2 Le cas de Porte d'Italie . . . 164
6.1.3.3 Le cas de Rubi . . . 165
6.2 Application de la méthode sur un cas d'étude : définition du système couverture sur Porte d'Italie . . . 166
6.2.1 Périmètres du système : les limites du périmètre de projet . . . 166
6.2.1.1 Les différents scénarios sur Porte d'Italie . . . 166
6.2.1.2 Un périmètre pas nécessairement centré sur le projet . . . 167
6.2.1.3 Une part de subjectivité influençant les résultats de la méthode . . . 169
6.2.2 Mise en place d'un protocole de définition d'un périmètre de système urbain . . . 169
6.2.2.1 Des pistes de détermination de périmètres urbains . . . 169
6.2.2.2 Le principe du lancer de rayons . . . 170
6.2.2.3 La question de la restriction à l'échelle locale et de rayonnement urbain . . . 174
6.2.2.4 Présentation du protocole de définition d'un périmètre fonctionnel . 174
6.2.3 Application du protocole et définition du périmètre fonctionnel sur Porte d'Italie 179
6.2.4 Spécification des espaces et composition structurale des systèmes . . . 180
6.2.5 Application de la méthode sur un cas d'étude : analyse fonctionnelle sur Porte d'Italie . . . 181
6.3 Confrontation et retours opérationnels sur la méthode . . . 183
6.3.1 Appropriation opérationnelle de la méthode sur le cas de Rubi . . . 184
6.3.2 La disponibilité des données . . . 186
6.3.3 Réflexion systémique et application opérationnelle . . . 186

Conclusion Générale **189**

Bibliographie **197**

A Présentation du projet CANOPEE **207**

B Extrait du catalogue de couvertures **211**

C Liste des fonctions internes de la couverture **217**

D Liste des fonctions de la couverture dans son système urbain **221**

E Application du protocole de définition du périmètre du système sur les cas de Porte d'Italie et Rubi **229**

F Liste des acronymes et abréviations **231**

Table des figures **233**

Liste des tableaux **237**

"Il y a beaucoup de réponses qui sont hors de question"

Sylvain Tesson - 2011

Introduction Générale

Villes et infrastructures de transports

Les grandes infrastructures de transports routières et ferroviaires sont arrivées en ville pour répondre à un besoin grandissant de mobilité. Elles permettent notamment d'établir des connexions rapides entre les centres urbains et leur périphérie, entre les centres urbains eux-mêmes à différentes échelles territoriales. Des voies ferrées s'implantent alors, arrivant de l'extérieur jusqu'aux gares situées à proximité ou au sein des centres urbains, des voies rapides et autoroutes convergent également vers les centres urbains et enfin de grands boulevards périphériques pour faciliter la distribution des flux dans la ville [Cardia, 1999] [Buchanan, 1963].

Depuis, les villes ont évolué suivant des dynamiques d'extension et/ou de densification. Ces évolutions urbaines ont entrainé l'absorption partielle des infrastructures au sein d'un tissu urbain dense. En effet, l'emprise importante de ces voiries (ou faisceaux de voiries) et l'activité circulatoire qu'elles supportent, induisent que les grandes infrastructures de transports prennent part physiquement au tissu sans s'y intégrer réellement. Elles tiennent alors lieu de véritables coupures qui sectionnent l'espace urbain et dont le franchissement peut être compliqué. La circulation routière et ferroviaire est par ailleurs génératrice de diverses nuisances pour les espaces en frange de l'infrastructure. Le bruit ou encore la pollution atmosphérique en sont deux exemples notables. L'infrastructure de transport n'est plus seulement un support de mobilité permettant la desserte des centres urbains, elle devient également un élément gênant, qui fait obstacle. Plus paradoxalement encore, l'infrastructure qui doit être un « lien », une « connexion » pour les déplacements, devient localement un objet contraignant, voire bloquant, la mobilité [Héran, 2011a].

Cette évolution urbaine s'ajoute également à une évolution des modes de vies des populations et de leur acceptation des nuisances à leur confort. En effet, les populations citadines n'ont plus la même tolérance aux bruits par exemple qu'à l'époque de l'émergence des grandes infrastructures. De la même manière, la sensibilisation des populations aux impacts directs et indirects sur la santé et le bien être, la pollution générée par la circulation automobile a conduit à une réduction de la tolérance vis-à-vis de ces nuisances. S'opère alors un changement de perception de ces grandes infrastructures de transports routières et ferroviaires. Elles apparaissent désormais comme, des coupures [Héran, 2011a], de véritables monstres urbains pour les populations [Prélorenzo, 2007] [Leheis, 2011].

Réflexion sur le traitements des infrastructures : les couvertures

Cette évolution a conduit à s'interroger sur la manière dont ces infrastructures pouvait être traitées en ville. Comment les effets de coupures peuvent-ils être adoucis ? Comment l'ambiance urbaine et le confort acoustique peuvent-ils être rétablis aux abords des voiries ? Comment réduire la pollution atmosphérique sur ces axes ? Comment atténuer l'impact paysager des infrastructures ? Autant de questions qui conduisent à mener une réflexion urbaine généralisée pour apporter des solutions de traitement des infrastructures traversant un espace urbain dense. Pour cela, des solutions d'aménagement existent. Elles peuvent consister à modifier directement l'infrastructure pour réduire le problème, en transformant la nature de la voirie, son image ou même en modifiant le tracé. Les solutions de traitement peuvent également prendre la forme de petits aménagement ponctuels, per-

mettant d'apporter une réponse très locale à un besoin bien spécifique : le mur antibruit par exemple. Enfin un dernier type de traitement utilise la verticalité pour créer une superposition d'espaces.

Parmi ces solutions, les couvertures d'infrastructures consistent à couvrir, entièrement ou pour partie, un tronçon d'infrastructure. Ces types d'opération se multiplient, notamment sur le réseau francilien, qui compte aujourd'hui 31 couvertures. Le traitement du boulevard périphérique parisien au niveau de la Porte des Lilas, du RER A à Vincennes et Saint Mandé, ou encore le projet de Paris Rive Gauche impliquant le large faisceau de voies de la gare d'Austerlitz, en sont quelques exemples. Les couvertures peuvent prendre différentes formes en fonction du contexte dans lequel elles s'intègrent, de la charge qu'elles peuvent supporter, de la topographie du terrain, etc. Elles se caractérisent par leur dimension verticale en proposant une superposition de l'infrastructure couverte et d'un sol artificiel en continuité des deux rives. Ainsi, la couverture, vise à répondre localement aux problématiques de coupure urbaine induites par la traversée de l'espace urbain par l'infrastructure. Elles tendent également à réduire des nuisances comme le bruit et/ou la pollution atmosphérique aux abords de l'axe recouvert. Elles peuvent de surcroît s'inscrire dans une stratégie foncière et de développement urbain local.

La densité des réseaux de ces grandes infrastructures de transports routières et/ou ferroviaire au sein de milieu urbain implique un nombre important de points noirs à traiter. La couverture peut être une solution potentiellement pertinente. Chaque point noir se caractérise par un contexte particulier, et de fait, exprime un besoin particulier. Certains seront plus concernés et impactés par le bruit généré par l'infrastructure et les véhicules qui y circulent, d'autres seront plus fortement affectés par la coupure urbaine. *Comment traiter au mieux ces points noirs ? Quelles solutions ? A quel endroit ? La couverture permet-elle de répondre à ces besoins ? sous quelle forme ? dans quel contexte ? Associée à quelle programmation urbaine ?*

Besoin de méthodes d'évaluation

Pour répondre à ces questions, les acteurs impliqués par les projets de couvertures ont besoin de disposer de méthodes et d'outils d'évaluation appropriés. Aujourd'hui, ces couvertures sont le résultat d'interventions urbaines pas ou peu réglementées ni contrôlées. La multiplicité des acteurs concernés, la considération multi-scalaire et l'intégration de la temporalité, en plus des contraintes contextuelles et techniques, font que la prise de décision dans le cas des couvertures d'infrastructures urbaines relève d'un processus souvent chaotique et trop rarement concerté. S'ajoute à cela la nécessité de porter une vision globale sur ces opérations particulières. Actuellement ces projets sont abordés de manière déconnectée. La couverture est considérée comme un ouvrage isolé et est évaluée comme tel. Pourtant, cette couverture s'intègre dans un contexte urbain plus large et impacte de manière plus ou moins significative son environnement. Ainsi, afin d'optimiser leur mise en œuvre, les acteurs des projets de couverture ont saisi l'importance de dépasser la seule analyse de l'ouvrage de génie civil et de considérer l'opération à travers un regard global et transversal. Le projet ANR CANOPEE [CANOPEE, 2011] a regroupé des acteurs opérationnels et universitaires dans le but d'apporter des réponses à ce sujet. La mise en place de méthodes de diagnostic et d'évaluation y a fait d'ailleurs

l'objet d'une tâche à part entière (cf. Annexe A).

Selon Daniel Bourdon [Bourdon, 1999] « Évaluer un projet, c'est :
- le rendre intelligible : interpréter des informations, proposer des analyses, mettre le projet dans la perspective d'une politique urbaine, d'une politique sociale, bref en dire le pourquoi et le comment ;
- porter une appréciation sur lui : dire si le projet atteint ses objectifs, ou s'il ne les atteint pas, ou s'il les atteint partiellement, comment et expliquer pourquoi ;
- la soumettre à débat : faire un retour sur les finalités du projet et sur la pertinence des choix initiaux sur lesquels il était construit. »

La notion d'intelligibilité, introduite dans cette définition, est primordiale. Elle exprime la nécessité de comprendre l'objet, le projet à évaluer. Cela consiste à définir le contexte de l'objet ou du projet, comprendre quels sont ses enjeux, ses objectifs. La complexité inhérente aux projets urbains appuie la nécessité de mettre en œuvre rigoureusement cette étape. Par ailleurs, les projets relatifs à l'urbain impliquent des équipes pluridisciplinaires. Pour un même projet, les membres de ces équipes ont souvent des langages différents, des références différentes, des objectifs différents, voire divergents. L'intelligibilité intègre également la pluralité des utilisateurs.

Il convient ensuite d'exploiter et d'interpréter le modèle obtenu afin d'en tirer des conclusions sur le positionnement du projet vis-à-vis des objectifs définis, sur ses impacts qu'il occasionne, *etc.* . Enfin, les résultats doivent être discutés, validés ou remis en question.

Positionnement de la thèse

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire vise à apporter des éléments de réponse à ce manque de méthode pour l'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain au delà de leur seule conception technique. Cet objectif émane d'un besoin exprimé par des acteurs concernés par des projets de couverture. Il a donc une portée opérationnelle mais requiert de recourir à un raisonnement scientifique pour y répondre.

La démarche consiste d'une part à observer et analyser les couvertures d'infrastructures dans leur contexte et leur environnement urbain immédiat et d'autre part à mener une réflexion théorique sur ces objets particuliers. L'enjeu est de saisir, comprendre et appréhender la complexité des territoires urbains intégrant (ou allant intégrer) ces objets de génie civil au-dessus d'infrastructures de transports routiers ou ferroviaires pour les modéliser et proposer des méthodes d'évaluation.

L'approche méthodologique proposée est construite sur le principe de la modélisation systémique. Elle permet de conduire les deux premières étapes du processus d'évaluation selon Daniel Bourdon. Le modèle est par définition un outil d'observation et de compréhension d'un phénomène ou d'un objet. L'emploi de la systémique permet également d'adopter une approche globale et transversale propre au génie urbain. Le travail de recherche mené dans le cadre de cette thèse consiste en l'élaboration

d'un modèle global permettant l'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain.

Ce mémoire s'articule en six chapitres. Le chapitre 1 introduit la problématique de **coupure urbaine** et expose un état de l'art des effets sur les pratiques et la morphologie des espaces urbains. Il est proposé de s'intéresser plus particulièrement aux grandes **infrastructures de transports routières et ferroviaires**. Il s'agit d'étudier le paradoxe de ces objets urbains. Ils sont les supports d'un réseau permettant de mailler et desservir le territoire mais s'apparentent localement à de véritables monstres urbains qui sectionnent la ville et génèrent des nuisances pour les espaces et populations alentours. Afin de traiter ce paradoxe, différentes solutions d'aménagement sont présentées. Le chapitre 2 s'attache à la description précise d'une de ces solutions : **les couvertures d'infrastructures** routières et ferroviaires. La couverture est tout d'abord présentée dans sa forme *génie civil*. Elle s'apparente à un objet qui doit s'adapter techniquement au contexte dans lequel elle s'intègre. La couverture est ensuite considérée et étudiée comme un objet technique qui prend part à un projet urbain. Cette considération plus large de la couverture révèle une véritable complexité. Le troisième chapitre propose d'appréhender cette complexité en utilisant l'approche systémique. Il y est donc proposé de définir un **système urbain de couverture**. Pour cela, ce chapitre propose de réaliser une description structurale du système. Autrement dit, il s'agit de modéliser et comprendre comment le système se compose et s'organise. Le chapitre 4 de ce mémoire se concentre sur la description fonctionnelle du système urbain de couverture. Pour cela, le travail consiste dans un premier temps à déterminer le besoin auquel répond le système, et ainsi d'identifier sa **finalité**. Le chapitre 5 complète cette description en élaborant un **modèle fonctionnel** du système urbain de couverture. Il s'agit ici de déterminer le **fonctionnement global** de la couverture au sein de son système afin de pouvoir l'évaluer. Enfin, le chapitre 6 propose une mise en application de la méthode sur deux cas concrets identifiés. Le but de cette étape est de pointer les incohérences, les corriger, et valider la modèle proposé.

CHAPITRE 1

Les coupures générées par les grandes infrastructures de transport en milieu urbain

Au sein des villes, des objets ou espaces, matériels ou immatériels, tiennent lieu de coupure dans l'espace urbain. Ce phénomène de coupure apparaît, lorsqu'un élément considéré comme un obstacle se trouve confronté à un tissu urbain. La coupure induit des effets de discontinuité parfois très marqués sur la morphologie, l'ambiance et les dynamiques urbaines, allant parfois jusqu'à l'enclavement de certains espaces. Elle agit comme une barrière. Au delà du débat sémantique pour qualifier les différents types de coupures qui s'expriment au sein des villes, cette problématique prend place au cœur de réflexions urbaines visant à comprendre et apporter des solutions vis-à-vis de ces éléments qui ne parviennent pas à faire corps avec l'espace urbain.

Les grandes infrastructures de transports routières et ferroviaires, initialement prévues pour mailler et desservir le territoire, s'apparentent à de véritables coupures du tissu urbain. Ces linéaires de voiries sont perçus localement comme de véritables monstres urbains au regard de la coupure qu'elles engendrent mais également au bruit, pollution atmosphérique et autres désagréments qu'elle génèrent. En effet, malgré leur appartenance à un réseau dense, ces grandes infrastructures terrestres décrivent un caractère fortement paradoxal quant à leur présence en ville.

Des solutions d'aménagement existent pour diminuer les impacts des infrastructures sur les espaces urbains qu'elles traversent. Elles peuvent consister à agir directement sur l'infrastructure de transport afin d'en modifier sa perception pour les espaces traversés. Ces traitements peuvent également s'apparenter à la mise en place de petits aménagements ponctuels, le plus souvent aux franges immédiates des voiries. Enfin, le dernier type de solution revient à travailler la ville non plus en plan mais en volume en proposant des moyens pour superposer de manière plus ou moins poreuse l'infrastructure de transport et l'espace urbain.

1.1 La coupure urbaine

La problématique de coupure en milieu urbain se traduit par la présence d'objets ou d'espaces au sein d'un tissu urbain mais qui ne prennent pas corps avec lui. Outre la coupure physique et visuelle, ces entités perturbent de manière plus ou moins franche la perception et l'usage d'un lieu. La question de cette coupure urbaine interpelle et mobilise de plus en plus, notamment avec le développement de la mobilité douce en ville qui s'en trouve gênée. Pour comprendre plus en détail cette problématique de coupure, il faut tout d'abord s'attacher à définir le terme. Qu'est-ce qu'une coupure ? Quelle forme peut-elle prendre ?

1.1.1 Qu'est-ce que la coupure ?

1.1.1.1 Définition de la coupure et débat sémantique

De manière générale, la coupure peut être considérée comme un élément, un objet urbain qui fait obstacle dans le tissu urbain. Plus précisément, il s'agit d'une rupture ou un blocage dans la lecture de l'espace, dans sa pratique et son ressenti. L'obstacle, ici qualifié de coupure, donne lieu à d'autres dénominations dans la littérature scientifique et dans les documents opérationnels. Certains parlent de barrière, ou encore de rupture. La terminologie varie en fonction des documents étudiés. La littérature française utilise principalement le terme de coupure, comme nous l'avons introduit dans ce document [Héran, 2011a] [Leheis, 2011][Laval, 2014]. Les chercheurs francophones ont tendance à employer le champ lexical médical de la blessure [Loyrette, 2003]. Cela traduit un espace urbain meurtri qu'il faut soigner. Les documents plus opérationnels emploient également ce vocabulaire de manière à pointer le caractère très négatif de la coupure et le besoin d'agir en conséquence. Frédéric Héran définit ainsi la coupure comme « une emprise dont la taille ou ce qu'elle accueille perturbe les relations entre les populations alentour ». [Héran, 2011a] [NGuyen, 2012]. Jean-Loup Gourdon cite dans ses travaux la définition de la coupure que propose Françoise Enel en 1984 « Il y a effet-coupure lorsque la conception de la voirie ne permet ni son insertion dans le milieu urbain préexistant, ni sa prédisposition aux formes d'urbanisation à venir. » [Gourdon, 1999]. Cette définition est particulièrement intéressante puisqu'elle permet de qualifier la coupure, à la fois par les effets qu'elle induit en termes d'usage et à la fois sur son impact urbain (vis à vis de projets ou programmations futurs). Cette deuxième dimension plus programmatique est très souvent ignorée dans les définitions proposées ou utilisées par les auteurs.

Les auteurs anglophones orientent leurs définitions vers le ou les usages que la coupure impacte. Par exemple, Julian Hine et John Russel pour qui la coupure est principalement un facteur perturbant des déplacements humains, s'appuient sur la définition de « the Institute of Highways and transportation » : « the sum of the divise effects a major urban road or heavy traffic flow has on the inhabitants either side of it. These effects can be either physical (ie actual barrier to movement) or psychological (ie perceived impediments to movement). » [Hine and Russell, 1993]. Cette définition de 1987 suscite cependant, pour les deux auteurs, une critique sur le fait qu'elle se focalise essentiellement sur les usages des riverains et ne prend *a priori* pas en compte les autres utilisateurs de l'espace. Susan Handy propose quant à elle la définition suivante « Severance refers separation or partitions between people and places, or between two places. » [Handy, 2002]. Ici, le terme de « severance » traduit

littéralement la séparation ou la rupture. Ce vocable est assez répandu dans la littérature anglophone [Handy, 2002] [Anclaes et al., 2014]. La rupture évoque plus des discontinuités. La barrière semble plus apparaitre comme un blocage, un obstacle empêchant un franchissement, séparation de deux espaces, de deux communautés.

Finalement, la coupure peut être considérée comme l'effet négatif bloquant et répulsif d'un objet sur la morphologie d'un espace, sa lecture, sa pratique et son évolution. Tout objet traversant un espace n'est pas forcément considéré comme une coupure. C'est ce qui différencie la coupure de la frontière. Susan Handy insiste justement sur le fait qu'il peut y avoir séparation sans pour autant induire un effet de barrière [Handy, 2002]. Certaines séparations permettent de définir les espaces et les communautés. La coupure survient lorsque cette séparation ne se contente plus de délimiter mais isole.

1.1.1.2 Typologie de la coupure

La coupure, ainsi définie, se présente sous différentes formes, sous différentes natures dans la ville. Rémy Allain s'intéresse, dans son ouvrage consacré à la morphologie urbaine, à cette question de coupure et en propose une première distinction. Il s'appuie sur le discours de Panerai pour déterminer deux types de coupure en fonction de leurs natures. Le premier correspond aux coupures naturelles comme les rivières par exemple. Le second, quant à lui, s'apparente aux coupures anthropiques. Il cite entre autre les voies ferrées ou les remparts [Allain, 2004].

Frédéric Héran précise et affine cette typologie en caractérisant la coupure par la forme qu'elle prend. Ainsi la coupure peut être linéaire ou surfacique. L'auteur propose ensuite de décliner ces différentes formes selon leur degré de franchissabilité pour des déplacements doux et de dangerosité de franchissement pour ces mêmes usagers (Fig.1.1) [Héran, 2011b].

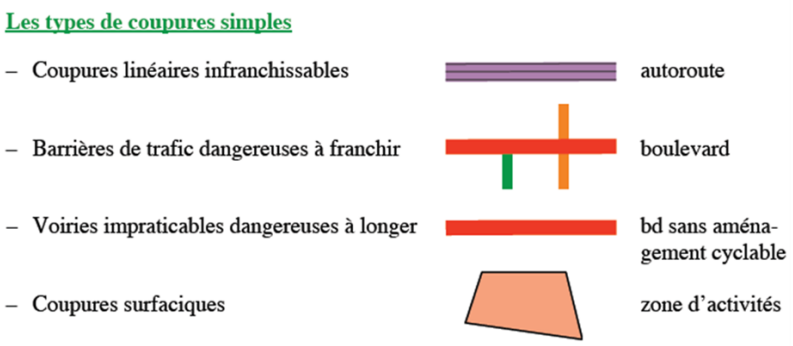


FIG. 1.1 – *Typologie de coupures simples selon Frédéric Héran [Héran, 2011b]*

La coupure anthropique (ou artificielle) linéaire correspond très souvent à une infrastructure de transport terrestre. Ces voiries routières ou ferroviaires maillent le territoire, et par là même, traversent des espaces urbains séparant ainsi deux rives urbaines parfois difficiles à rallier. Leur nature, fréquentation, usage et vitesse de circulation déterminent l'emprise de l'infrastructure, le niveau de dangerosité et les aménagements possibles pour la traverser. Frédéric Héran propose trois types de coupure linéaire anthropique. Le premier regroupe les « coupures linéaires infranchissables ». Il prend

l'exemple de l'autoroute pour illustrer son propos. L'autoroute A6/A6b en est un parfait exemple. Aux abords de la capitale, elle se fait de plus en plus présente dans le paysage urbain. Ainsi, elle traverse et sectionne des communes présentant une densité importante (Fig.1.2). Gentilly, Cachan, ou encore Chevilly-Larue sont confrontées à cette coupure urbaine. Si quelques franchissements sont prévus le long du tracé autoroutier, certains flux, comme le déplacement piéton, se heurtent à une large infrastructure localement insurmontable. Ce type d'infrastructure présente une emprise spatiale forte, essentiellement dédiée aux déplacements motorisés, et autorise une vitesse élevée. Cette dernière crée un réel danger pour tout usager non motorisé qui souhaite s'y aventurer et/ou la traverser. Les autoroutes ne sont pas les seules représentantes de ce type de coupure : toute voie rapide urbaine peut être considérée dans cette catégorie. De la même manière, les infrastructures de transports ferroviaires sont également de cet ordre. En effet, un faisceau de voies ferrées présente également les caractéristiques de forte emprise et d'infranchissabilité.

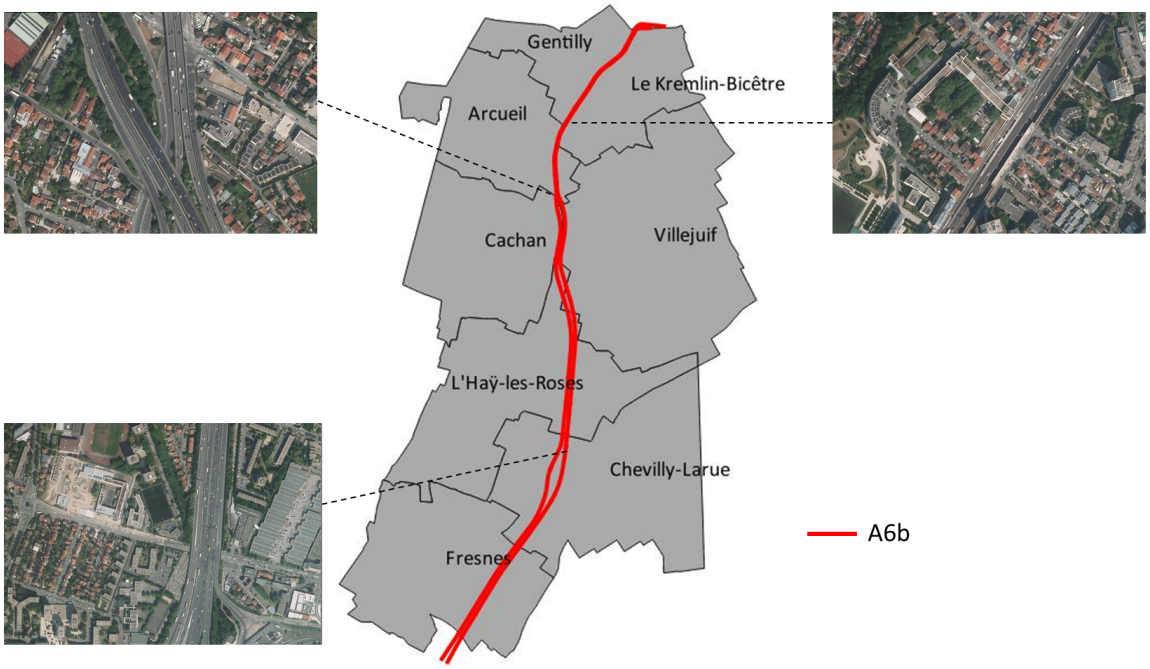


FIG. 1.2 – *Tronçon de l'A6/A6b aux abords de Paris et les communes traversées*

Le second type correspond à ce que Héran appelle les « barrières de trafic dangereuses à franchir ». Il illustre cette coupure par l'exemple du boulevard. Il s'agit de manière plus générale de rues pénétrantes, de grandes artères urbaines où la place des véhicules motorisés est bien majoritaire à celle attribuée aux autres usagers. Dans ces cas la vitesse est généralement peu importante et ne prend pas part au problème. C'est bien l'emprise, la fréquentation et le manque d'aménagement et d'espaces destinés aux usagers, qui engendrent cette coupure. Certains tronçons des boulevards des Maréchaux à Paris peuvent être pris en exemple pour illustrer ce type de coupure. Ces boulevards présentent par endroit, et notamment au niveau des arrêts de tramway, des passages prévus pour

la traversée piétonne. En revanche, d'autres portions en sont dépourvues, rendant la traversée plus contraignante, voire plus dangereuse. Le chercheur évoque un troisième type de coupure : « les voiries impraticables dangereuses à longer ». Cette troisième coupure linéaire présente des similitudes de formes, d'emprise et de fréquentation avec la précédente. Il appuie cependant plus sur les difficultés que peuvent rencontrer des piétons ou cyclistes pour parcourir la voirie dans son sens de circulation. L'exemple du « boulevard sans aménagement cyclable » atteste d'ailleurs de cette spécification.

La coupure linéaire naturelle s'apparente quant à elle quasi-systématiquement à un cours d'eau de type fleuve ou rivière. Ce type de coupure ne rentre pas réellement dans la typologie exposée ici par Frédéric Héran. Cependant, elle peut également jouer le rôle de coupure au sein de la ville, comme le souligne Rémi Allain, et avoir un impact notamment morphologique sur celle-ci.

Les coupures dites « surfaciques » peuvent prendre des formes très variées. Contrairement aux coupures linéaires, elles ne vont pas diviser un espace en deux mais s'imposent dans la ville comme une entité à très forte emprise, cassant la continuité urbaine. Elles peuvent être bâties, partiellement bâties ou non. Frédéric Héran propose l'exemple de la zone d'activité pour illustrer la forme que peut prendre cette coupure surfacique. Dans ce cas, elle est partiellement bâtie, alternée généralement de voiries et d'emplacements pour le stationnement de véhicules et parfois de livraison. La concentration d'une même activité tertiaire est ce qui suggère la coupure. Pour prendre d'autres exemples, une coupure surfacique peut prendre la forme d'un ilot fermé, d'une friche, d'un bâtiment à forte emprise, etc. Ces surfaces correspondent généralement à des espaces délaissés et désagréables, à des espaces qui souhaitent garder leur étanchéité, ou à des surfaces où se concentre une seule activité, et consommatrices d'espaces.

L'entrepôt MacDonald est un parfait exemple de coupure bâtie à la fois surfacique et linéaire. Il s'agit d'un bâtiment situé au nord de Paris, à proximité de la Porte de la Chapelle. En 1955, l'architecte Marcel Forest conçoit l'entrepôt afin de remplacer l'usine à gaz de la Villette, devenue obsolète. Il s'agit alors de créer un large entrepôt de réception, de stockage et de distribution des marchandises sur cet emplacement stratégique. Il se positionne en bord des voies ferrées (à destination de gare de l'est) et à proximité des grands axes routiers de la capitale, et notamment du boulevard périphérique. Il est érigé un bâtiment colossal, capable d'accueillir une vaste plateforme logistique. L'entrepôt MacDonald mesure 616m de long sur 70m de large, s'impose dans le paysage urbain comme un grand bloc de béton infranchissable, comparable en termes de surface à l'Ile Saint Louis (Fig.1.3). A ce titre, Henri Bresler [1] qualifie l'ouvrage de « bâtiment territoire ». L'entrepôt MacDonald s'apparente de fait à un mur homogène qui fait obstacle à la vue et au déplacement.

En 2007, suite à l'acquisition du bâtiment, l'agence OMA de Rem Koolhaas et de Floris Alkemade remporte la coordination du projet architectural pour requalifier l'entrepôt, devenu désuet. Le projet de reconversion dont il fait l'objet porte notamment sur la question de coupure. Ainsi, en conservant l'emprise de l'entrepôt, il est proposé de traiter cet effet par plusieurs actions ciblées. La première

1. Ce propos provient d'une conférence donné par Henri Bresler le 30 mai 2010 au pavillon de l'Arsenal. Il y présentait son étude historique sur l'entrepôt MacDonald, menée avec Clotilde Joly « Entrepôt MacDonald - Histoire prospective ». La vidéo de cette conférence est consultable sur le site du Pavillon de l'Arsenal http ://www.pavillon-arsenal.com

FIG. 1.3 – *Photographie de l'entrepôt MacDonald en 1970 ©Archives du Nord [SEMAVIP, 2014]*

consiste à casser cette impression massive en jouant sur les volumes pour laisser passer la lumière, la vue et identifier différentes entités bâties. Sur cette même idée, le projet est morcelé puis confié à plusieurs architectes [SEMAVIP, 2014]. Le volume général est séparé en deux, laissant traverser une ligne de tramway (T3). Cette action est particulièrement déterminante dans le processus de réduction de la coupure. En plus de casser un aspect visuel massif, elle rend poreuse la parcelle et le bâti et permet le franchissement. Par ailleurs, en termes de programmation, le programme prévoit une diversification des activités (Fig.1.4).

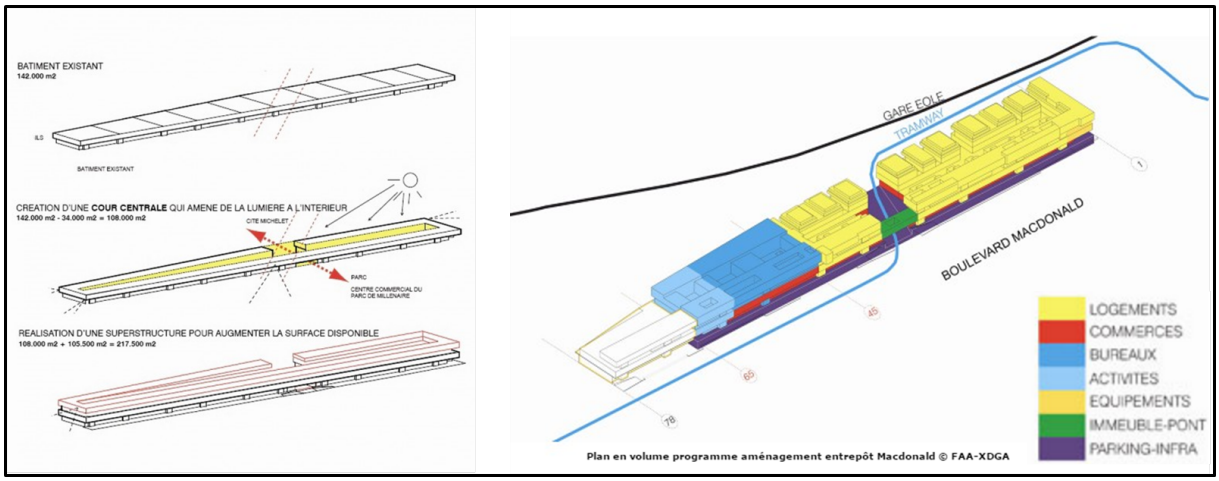


FIG. 1.4 – *Projet de reconversion de l'entrepot MacDonald (illustrations publiées par la SEMAVIP : http ://www.semavip.fr/nos-projets/les-projets-en-cours/entrepot-macdonald/synthese-projet)*

1.1.2 Causes de la coupure

1.1.2.1 Une coupure induite involontairement

La coupure urbaine n'est, dans la plupart des cas, pas un phénomène causé volontairement au sein de la ville. Chacun des exemples exposés précédemment présentent des objets, ou groupements d'objets, qui ont été élaborés pour répondre à un objectif bien précis, et utile au fonctionnement urbain. Les infrastructures de transport permettent de mailler et desservir le territoire. Elles contribuent donc à l'accessibilité des espaces à différentes échelles et favorisent la mobilité. Les zones d'activités tertiaires permettent de contribuer à une dynamique économique locale et par là même de constituer un réservoir d'emplois non négligeable. Des entrepôts peuvent avoir des rôles majeurs dans des activités de distribution par exemple.

Ces différents objets urbains finissent pour certains par être considérés comme de véritables coupures. Là où ils servaient un intérêt spécifique, ils deviennent en contre partie la source de blocages et de contraintes. Comment s'explique ce phénomène ? Il existe plusieurs raisons à cela. Ces coupures sont le résultat d'évolutions des dynamiques urbaines, sociales, éventuellement techniques. Par exemple, un élément dont la proximité dérange, peut être installé en dehors d'une aire urbaine, être absorbé par extension de la ville et devenir coupure. Une évolution des pratiques peut également être facteur de cet effet. Certaines voiries autoroutières ont vu le jour, lors d'une période où le déplacement automobile primait. La tendance dans les centres urbains, tendant à s'inverser, privilégie une circulation douce. Ainsi, les voies rapides, qui apparaissaient initialement comme vecteur de déplacement se sont transformés en barrières au déplacement. Un dernier exemple, porte plus sur l'évolution technique et économique, rendant parfois obsolète des objets imposants qui n'ont alors pour vocation que couper ou obstruer l'espace.

1.1.2.2 La coupure engendre la coupure : une adaptation de la ville

L'objet urbain à l'origine de la coupure est dans la plupart des cas perçu comme un élément désagréable ou nuisible par les usagers à proximité. Dans certains cas, la coupure physique se combine à des directives juridiques, des ressentis ou perceptions humaines ou encore d'autres éléments physiques, ayant un effet d'accentuation de la coupure.

Cette augmentation de l'effet de coupure peut se traduire par une servitude légale vis-à-vis d'un objet fortement nuisible ou dangereux. Le code de l'urbanisme prévoit la mise en place de « servitudes relatives aux ressources et équipements ». Les textes réglementent les « servitudes de recul » vis à vis des voies à grandes circulations pour la protection des populations et des « servitude de réservation » en vue de l'évolution de l'infrastructure de transport [Dubois-Maury, 2007]. Concernant, l'extension urbaine le long des voies, la loi Barnier impose un retrait de 75 à 100m entre la voirie et les nouvelles constructions[2] en entrée de ville. Ces espaces laissés libres entre voirie et constructions ont le plus souvent pour effet d'à accroître la largeur de la coupure. Un autre exemple de retrait imposé, concerne des installations jugées « à risque ». Ces servitudes sont généralement imposées dans les plans de préventions des risques de la collectivité concernée. Usines, installations agricoles,

2. la distance de retrait varie en fonction du type de voirie et de la circulation qu'elle supporte

cimetières, sont des exemples d'équipements pouvant faire l'objet d'une servitude d'utilité publique relative à la santé et sécurité publique . Dans ce cas, le retrait s'apparente à un périmètre de sécurité pour les constructions ou espaces environnants.

Un délaissé urbain peut également apparaître de manière spontanée du fait d'un environnement anxiogène aux abords de la coupure, ou tout simplement d'une ambiance générale peu agréable (et peu utile dans le fonctionnement urbain local). L'exemple de l'ancienne autoroute urbaine de San Francisco « Embarcadero Freeway », en est un exemple parfait (Fig.1.5). En effet, la configuration géométrique et paysagère de l'ancien viaduc créait une atmosphère peu accueillante pour les piétons qui s'y aventuraient [Lecroart, 2013a].

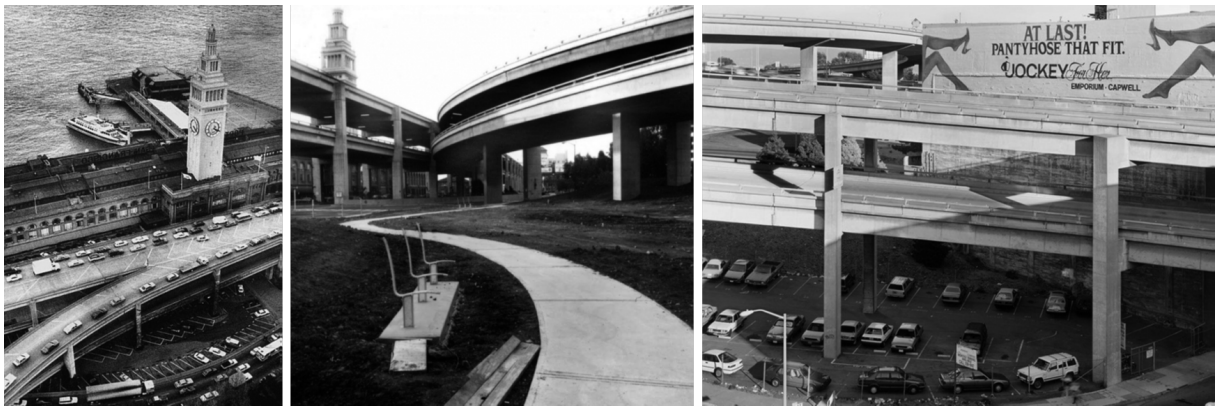


FIG. 1.5 – *Vues de l'ancien viaduc « Embarcadero Freeway » et des espaces sous l'autoroute [Lecroart, 2013a]*

Une troisième configuration d'accentuation de coupure urbaine existe. Il s'agit de l'accumulation d'objets urbains « désagréables ». En effet, si certains espaces, réseaux ou bâtiments font l'objet de « rejet », une agrégation de ceux-ci peut avoir lieu. Par exemple, l'implantation d'une usine qualifiée de nuisible voir dangereuse ne peut accueillir de logements ou espaces d'agrément à proximité. En revanche, des entrepôts, peu appréciés sur le plan paysager et sur les éventuels bruits ou désagréments de circulation peuvent trouver leur place aux côtés de cette usine. Ainsi, l'aire déplaisante s'agrandit assez naturellement.

Frédéric Héran qualifie ce résultat du processus de surenchère de coupures, de « coupure composite » (Fig.1.6) [Héran, 2011a]. Il propose là encore quatre configurations de coupures composites. La première correspond à une superposition de coupures linéaires. Il prend l'exemple de voiries autoroutières et ferrées qui se longent l'une et l'autre. Il poursuit sur une combinaison de coupures linéaires et surfaciques. Il s'agit dans la plupart des cas d'éléments sources de coupure surfacique qui s'implantent le long d'une voie de transport. Les entrées de ville font parfois l'objet de ce phénomène. Le troisième type de coupure composite correspond à la traversée de coupures linéaires ou surfaciques par une coupure linéaire infranchissable (voie de transport principalement). Cette typologie quadrille l'espace concerné. Frédéric Héran prend l'exemple d'une voirie exclusivement ferrée ou autoroutière au-dessus d'un fleuve. Enfin, la dernière configuration proposée s'apparente à l'encadrement d'un

espace par plusieurs éléments qui font coupure, qu'ils soient linéaires ou surfaciques. De fait, l'espace ou le quartier concerné peut devenir lui-même partie prenante de la coupure composite.

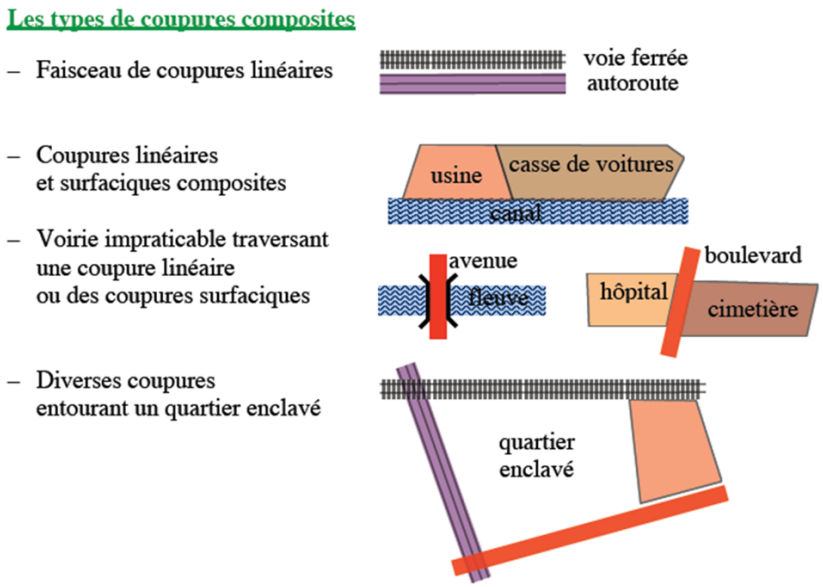


FIG. 1.6 – *Typologie de coupures composites selon Frédéric Héran [Héran, 2011b]*

La presqu'île de Lyon illustre en tous points le concept de coupures composites. Dessinée naturellement par le Rhône et la Saône, elle est traversée d'abord par la voie ferrée et la gare de Lyon Perrache, puis par l'autoroute A6 (Autoroute du soleil) qui appuie la coupure par un linéaire de voies infranchissables (Fig.1.7) Cette combinaison et superposition de coupures linéaires naturelles et anthropiques provoquent un enclavement certain de cet espace pourtant au cœur de Lyon. La problématique est en cours de traitement et correspond à l'un des axes majeurs du projet *Lyon Confluence*.

1.1.3 Les effets de la coupure en milieu urbain

Dans son étude sur les coupures en Ile de France, l'IAU énonce que « Quelle que soit la forme, une coupure urbaine tend à gêner, modifier, restreindre les mouvements et limiter l'accessibilité et la connectivité de la ville ». La coupure s'exprime plus ou moins fortement à travers les impacts qu'elle occasionne sur l'espace urbain et les populations qui y évoluent.

1.1.3.1 Des effets sur les déplacements

Le premier effet attribué à la coupure concerne la difficulté voire l'impossibilité des franchissements qu'elle génère. Cela fait directement écho au paradoxe évoqué ci-dessus. Elle devient non plus un vecteur d'échanges et de déplacements mais bien un obstacle aux flux.

Les impacts de la coupure sur les déplacements doux, type piétonniers ou cyclistes sont, dans la littérature, le principal défaut alloué à l'infrastructure de transports. De fait, le sujet est largement

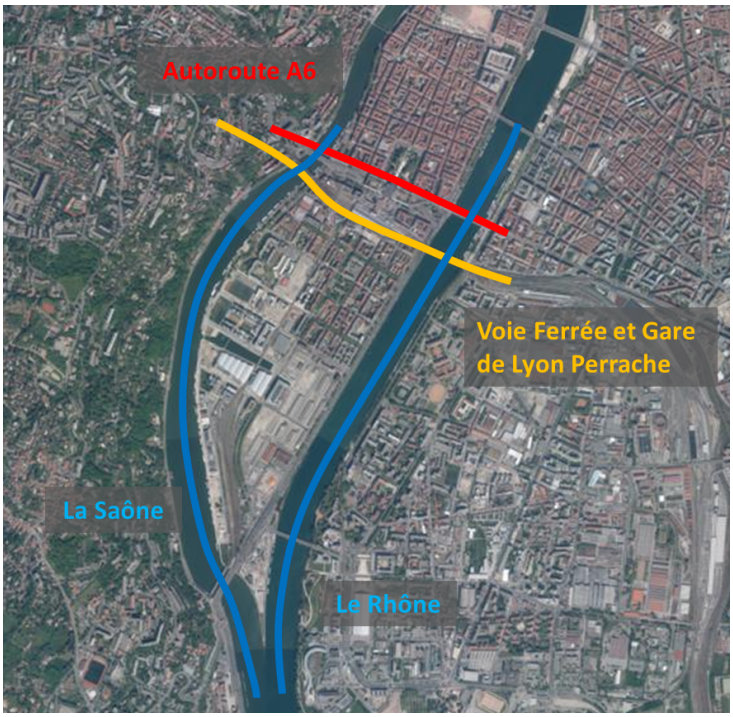


FIG. 1.7 – *Les coupures autour de la presqu'île de Lyon*

traité. Les études portent notamment sur les comportements des usagers et sur les problèmes auxquels ils doivent faire face. Julian Hine et John Russell consacrent un article à ce sujet [Hine and Russell, 1993]. Ils décrivent les difficultés rencontrées par le piéton pour traverser une route à forte fréquentation de véhicules motorisés. Les voiries routières entrent selon eux en conflit d'usage avec les déplacements doux. Le problème principalement évoqué est la vitesse jugée excessive et inadaptée des véhicules motorisés. Pour justifier ce propos, Hine et Russell s'appuient sur l'étude du comportement piéton vis à vis de ces artères et apprécient de fait l'effet de barrière. Ils considèrent cependant dans leurs études des grosses artères urbaines dont le franchissement est difficile mais possible néanmoins. En ce sens, ils ne travaillent pas sur les mêmes objets que nous. Les infrastructures considérées ici s'apparentent à des voiries excluant totalement la circulation douce (hormis par le biais de passerelles ou souterrains). Il s'agit donc, en se référant à la typologie de coupure proposée par Frédéric Héran de « barrières de trafic dangereuses à franchir ». La réflexion du binôme est néanmoins intéressante, puisqu'elle qualifie la coupure par le comportement des usagers en ses franges. Pour eux, la coupure se traduit donc essentiellement par une barrière aux déplacements piétons.

De leur côté, Paulo Anclaes, Peter Jones et Jennifer S Mindell proposent un comparatif des différentes démarches pour évaluer la coupure [Anclaes et al., 2014]. Cette récente étude confirme que les réflexions menées à ce sujet considèrent la coupure physique à travers la difficulté d'accessibilité qu'elle inflige pour les déplacements doux. Frédéric Héran confronte également les modes de déplacements doux aux grandes infrastructures de transport traversantes [Héran, 2011a][NGuyen, 2012]. Sur les trois effets que confère Héran à la coupure, le premier correspond aux conséquences sur les flux piétons[3] qu'il qualifie d'« effet immédiat » [Héran, 2009]. D'après l'ensemble de ces travaux,

3. Afin de mesurer et rendre compte des impacts de la coupure sur les déplacements piétons, Frédéric Héran expose

les impacts de la coupure sur les déplacements piétons se traduisent par des allongements de délais ou retards, des détours, ou encore par des mises en dangers.

Cet effet de coupure sur les déplacements doux est aujourd'hui au cœur des préoccupations de la Ville de Paris, et notamment concernant les déplacements cyclistes. En effet, dans sa volonté de réduire la place de la voiture au sein de la capitale, des initiatives et dispositifs sont mis en place pour encourager l'utilisation du vélo pour les déplacements intra urbains. Pourtant, ce type de déplacement se trouve confronté à des obstacles qui mettent en difficulté aussi bien son confort, son efficacité que sa sécurité. L'Institut d'Aménagement et de l'Urbanisme (IAU) de l'Ile de France s'est penché sur la question. Le diagnostic est orienté sur l'impact des coupures sur les itinéraires cyclistes. Cent points de coupures majeures y sont répertoriés sur la région. Par ailleurs, ces points de coupure recensés sont intégrés et librement visibles sur la plateforme cartographique VISIAU [4] (Fig.1.8).

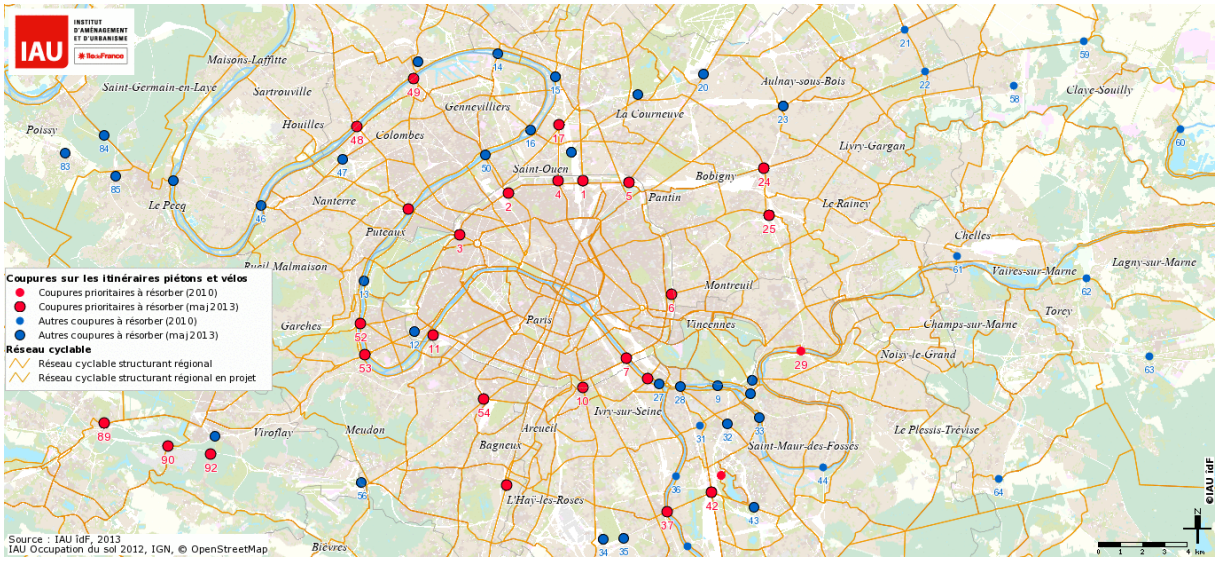


FIG. 1.8 – *Cartographie des effets de coupure sur la mobilité cycliste par l'IAU*

Sur cette carte, le réseau cycliste apparaît en orange. Les coupures dites « prioritaires » sont matérialisées par des points rouges (l'épaisseur de leurs contours dépend de l'année pour laquelle la résorption est prévue), et les autres, jugées moins urgentes en termes de correction, par des points bleus. Il est intéressant d'y observer la concentration de ces points de coupure en périphérie de la capitale. Une piste de réponse à ce constat réside dans le fait que les axes autoroutiers permettent de relier la province à Paris, mais ne pénètre pas la ville. Cet inventaire démontre une reconnaissance réelle du problème de coupure et son effet sur les dynamiques humaines et des pratiques de l'espace ; ici par exemple les déplacements cyclistes.

le concept des « 3D » : délais, détours et dénivelés. Chacun des trois « D » correspond selon l'auteur à un facteur de contrainte pour les usagers. Ils doivent produire un effort supplémentaire pour effectuer leur déplacement. Ce concept a pour limite de ne prendre en compte que l'aspect physique de la coupure.

4. VISIAU est un outil cartographique développé et mis en ligne par l'IAU. Il permet l'affichage de données relatives à l'aménagement du territoire en Ile de France et aux dynamiques territoriales. L'outil est disponible en ligne : http ://sigr.iau-idf.fr/webapps/visiau/

Les difficultés rencontrées par les déplacements motorisés sont beaucoup moins traitées voir ignorées. Paulo Anclaes évoque l'intérêt d'étendre le questionnement de l'impact de la coupure sur les déplacements à d'autres moyens de transport que la marche [Anclaes et al., 2014]. Ils font également l'objet de détours et de rallongements de temps de parcours lorsque le nombre de franchissements d'une grande infrastructure est faible. Par ailleurs, outre le déplacement des nombreux véhicules particuliers ; des activités économiques, ou encore des services urbains utilisent ce réseau comme support. On peut sans mal imaginer les entraves dans la continuité des services utilisant des véhicules motorisés. Les parcours suivis par les services de collecte des déchets, de livraison, ou plus parlant encore par un service de transport en commun, peuvent par exemple, être fortement impactés. La coupure a donc clairement une incidence sur l'ensemble des déplacements humains à l'échelle locale [Sander, 2000].

1.1.3.2 Des effets de discontinuité urbaine

Rémy Allain, dans son étude de la coupure, se positionne vis à vis de la morphologie urbaine plus particulièrement sur l'impact de la coupure sur le maillage du tissu urbain [Allain, 2004]. Il expose dans un premier temps les empreintes morphologiques des coupures liées aux infrastructures de transports terrestres. Il évoque les voiries routières assez rapidement. Il traite néanmoins des formes circulaires et concentriques des boulevards périphériques. Les autoroutes urbaines, telles qu'elles sont présentes en région parisienne sont exclues de cette étude. Il détaille en revanche les configurations morphologiques des voies ferrées. Il en dénombre cinq types :

- La convergence de voies vers une gare.
- Un réseau de voies imbriquées autour d'un centre urbain.
- Une voie tangentielle.
- Une voie longeant un littoral.
- une voie circulaire.

L'auteur se focalise sur les infrastructures de transports pour construire sa typologie. Ces différents tracés structurent et/ou contraignent, chacun à leur manière, le tissu dans lequel ils s'intègrent. Rémi Allain couple ce propos et cette typologie morphologique à une observation sur la dévalorisation foncière et l'influence sur le Coefficient d'Occupation des Sols (COS)[5] [Allain, 2004]. Son étude montre qu'une infrastructure de transports se positionne à proximité d'une centralité, d'un lieu-dit « valorisé ». Tenant lieu de coupure, elle isole ce centre des espaces environnants. S'ensuit alors une nette dévalorisation foncière de ces espaces en franges de l'infrastructure. Bien qu'extrêmement théorique, cette observation illustre bien la partition, voire la ségrégation amorcée par la coupure, ainsi que les effets dévalorisants qu'elle occasionne.

Cette rupture morphologique, associée aux difficultés de franchissement entre les deux rives de l'infrastructure sépare des quartiers et les populations qui y vivent. Susan Handy pointe dans ses

5. Le Coefficient d'Occupation des Sols a été supprimé avec la loi ALUR en 2014 « La loi d'accès au logement et un urbanisme rénové (Alur) a privé d'effets juridiques les coefficients d'occupation des sols (COS) compris dans les règlements des plans locaux d'urbanisme (PLU). » [du logement et de l'égalité des territoires, 2014]

recherches les effets de la coupure urbaine et physique sur la cohésion sociale [Handy, 2002]. Elle précise que l'environnement physique joue nécessairement un rôle sur cette cohésion sociale, qu'il soit bénéfique ou néfaste. Les frontières permettent de définir les communautés alors que les barrières les séparent. L'infrastructure de transport et la coupure qu'elle crée s'inscrivent ainsi assez logiquement dans un rôle de barrière. Tout incite à rester « de son côté », la traversée étant dangereuse, contraignante ou même impossible, la séparation se fait assez naturellement physiquement et à travers les pratiques de chacun.

La dévalorisation foncière issue de la coupure, évoquée par Rémi Allain, augmente d'autant plus cette rupture sociale [Allain, 2004]. Elle tend à sélectionner des classes et catégories sociales en fonction de leurs revenus. Par ailleurs, cela détermine une différence identitaire fortement marquée qui va prononcer d'autant plus l'enfermement communautaire. L'association de la rupture morphologique et de la rupture sociale peut parfois même aboutir à un phénomène d'enclavement. Anna Cristofol, dont les travaux de recherche portent sur l'enclavement urbain, s'est intéressée aux causes d'enfermement [6] des espaces [Cristofol, 2011]. Les grandes infrastructures de transports apparaissent comme l'une des causes d'enfermement et de fait comme un facteur d'enclavement de quartiers [Grillet-Aubert and Guth, 2003]. Le cloisonnement physique s'associe à la réduction d'accessibilité, repliant ainsi un espace ou quartier sur lui-même.

1.1.4 Les infrastructures de transport : des coupures paradoxales en questionnement

Les coupures liées aux grandes infrastructures de transports sont fortement représentées et pointées du doigt dans la littérature traitant de cette problématique. Ces grands faisceaux de voirie ont en effet la particularité d'être en contradiction totale concernant leur objectif initial. Les infrastructures de transports routières et ferroviaires ont pour vocation de mailler et desservir le territoire, de manière à en augmenter l'accessibilité à grande échelle. Localement, l'analyse précédente a démontré qu'elles décrivent un comportent inverse en compliquant notamment la mobilité des populations. Cela interpelle de nouveau sur le caractère paradoxal de l'infrastructure de transports en milieu urbain qui tient lieu de connexion territoriale à grande échelle et de barrière physique psychologique localement [Héran, 2011a]. Frédéric Héran s'est également positionné sur ce constat en évoquant le phénomène comme « le paradoxe du lien qui coupe ».

Il est intéressant de comprendre comment ces infrastructures de transports terrestres ont pu basculer de vecteur de développement et de mobilité à élément de fracture urbaine parfois paralysant ou simplement intrusif. Quelles sont les mesures qui ont émergé à l'issue de cette prise de conscience ? Comment est-il possible de se positionner pour apporter des solutions, d'aménagement, techniques, de gouvernance, etc. à ce problème.

6. Les termes d'enfermement et de fermeture des espaces sont employés par l'auteur comme dimension physique de l'enclavement. Ce dernier terme dispose d'un degré de subtilité dans lequel nous ne nous engageons pas dans cette thèse mais qui fait l'objet d'une étude approfondie dans ses travaux.

1.2 Infrastructures de transport en milieu urbain

Les grandes infrastructures de transports routières ou ferroviaires n'ont, comme il l'a été évoqué précédemment, pas eu pour vocation première de couper la ville. Il s'agit pour ces objets qui s'insèrent fortement au sein du tissu urbain de mailler le territoire, de le desservir, tout en s'adaptant aux évolutions techniques mais aussi de mobilité des populations. Si le constat est sévère pour des infrastructures qualifiées de monstres urbains, des questionnements et projets sont menés afin d'adoucir leur insertion en milieu urbain dense.

1.2.1 Comment les grandes infrastructures de transport se sont invitées en ville ?

1.2.1.1 Les voies ferrées : une nouvelle appréhension du territoire et de la mobilité

Le XIXème siècle marque le début du transport ferroviaire avec la création du premier train à vapeur au pays de Galles en 1804 et l'implantation des premières lignes de chemins de fer [Bowie, 2003]. Cette technologie propose de transporter des voyageurs, des matériaux ou encore des marchandises et de parcourir un large territoire en un temps fortement réduit. Alors que les voies d'eau pouvaient être utilisées à cet effet, le XVIIIème siècle marque l'adoption d'une logique d'imperméabilisation urbaine pour assainir la ville. Le réseau fluvial se dégrade du fait l'image non hygiénique qu'il véhicule. Le développement des réseaux de distribution et d'assainissement de l'eau en ville conduit de fait à l'exclusion de ces voies [Guillerme, 2010] et l'activité économique doit se reporter sur d'autres types d'infrastructures : les routes et voies ferrées.

Les infrastructures de transports ferroviaires soulèvent de nombreux questionnements quant à leur implantation. La réflexion se porte aussi bien sur les linéaires de voies qui nécessitent une forte emprise spatiale, que pour les gares qui doivent être implantées sur des positions stratégiques. C'est en 1830 que les premiers projets et premières problématiques émergent dans le but de faire circuler des trains dans Paris [Texier, 2003]. La première ligne de la capitale est alors inaugurée en 1834, et rallie Paris à Saint Germain en Laye [De Andia, 2003].

Il s'agit d'un premier élargissement de la vision territoriale. Le territoire est plus grand mais plus accessible. Du point de vue du déplacement humain mais également du commerce, ces infrastructures créent une nouvelle proximité entre des villes et espaces qui se trouvent pourtant géographiquement éloignés. De cette manière, les gares deviennent des nouvelles « portes de la ville » [Barrère, 2003]. C'est par elles que les usagers de banlieue ou même de province entrent dans la capitale.

Depuis les années 1800, les réseaux ferroviaires ont considérablement évolué au sein des villes. Le nombre de lignes intra urbaines, régionales, nationales et internationales s'est multiplié et décrit aujourd'hui une densité importante. Le matériel roulant, la vitesse, etc. ont également révolutionné la manière de circuler en ville via ce mode de transport guidé et étendu les distances accessibles depuis les centres urbains. L'appréhension territoriale a ainsi évolué avec les progrès ferroviaires.

Les voies ferrées s'inscrivent dans le paysage urbain selon une très forte emprise spatiale et décrivant une importante inertie physique. Simon Texier soulève alors le problème de l'adaptation des

réseaux de chemins de fer à l'extension des villes et métropoles. Comment peux-t-on faire évoluer ces réseaux ? Il s'appuie sur l'exemple du métro parisien, initialement contenu dans le périmètre administratif de la capitale, et rallie les différentes « portes » de Paris. Mais le phénomène de métropolisation aboutit à une distorsion de ces frontières, du fait de l'extension urbaine et la considération territoriale plus large.

1.2.1.2 L'apparition des autoroutes urbaines en ville : adapter la ville à la voiture

L'arrivée en ville des grosses infrastructures routières de type autoroutes urbaines, voies rapides urbaines ou encore voies express est bien plus récente. Ces infrastructures doivent leur émergence et leur foisonnement à l'essor de l'industrie automobile couplé au désir profond de moderniser les villes encombrées ou meurtries de l'après-guerre. Clara Cardia retrace très clairement la genèse de ces grandes infrastructures et la succession d'évènements qui ont mené à leur édifice [Cardia, 1999]. L'après-guerre a marqué un tournant dans la manière de concevoir l'urbain. Elle a notamment insufflé une volonté forte de « tourner la page » et de faire place à une ville moderne [Cardia, 1999]. L'automobile est l'un des symboles de la modernité à cette époque. Son arrivée en ville se confronte cependant à un problème d'adaptation à la forme urbaine et s'apparente à un objet nuisible et surtout occasionnant un fort encombrement de l'espace public. Pour résoudre ce problème, des réflexions européennes et américaines s'engagent et s'accordent sur la nécessité d'adapter la ville à la voiture [Cardia, 1999]. Le manuel du ministère des transports anglais Design and layout of roads in urban areas (1946), les congrès des CIAM The Heart of the City[7] (1951) et le rapport Buchanan (1963) sont les trois grands témoins de ces réflexions. Ils mobilisent de nombreuses études sur les problématiques de congestion des centres villes et proposent des solutions pour parer ces problèmes.

De nouveaux concepts apparaissent. Le premier concerne la hiérarchisation des voiries par usage. Ce précepte recommande la réalisation de voies « plus rapides » et imposantes exclusivement dédiées à la circulation automobile, de voies plus lentes, le long desquelles piétons et voitures pourraient cohabiter et enfin de voies spécifiques pour les déplacements piétonniers. Cette suggestion rejoint les propos et prédicats de Le Corbusier dans sa vision de l'organisation des réseaux par vitesse : les V7[8]. La seconde solution, faisant suite à la première, se traduit par une séparation piétons/voitures. Il s'agirait de créer de nouveaux espaces s'apparentant à de nouveaux « centres urbains » qui sépareraient verticalement les flux piétons et les flux routiers. Une troisième proposition consiste en la création d'anneaux réservés à la circulation automobile en périphérie des centres villes, et connectés en plusieurs nœuds au réseau de la ville. Il doit permettre de rallier rapidement tout point du centre-ville sans avoir à le traverser [Cardia, 1999]. Cette solution a ainsi pour vocation de désengorger et de connecter à la fois.

7. Les Congrès Internationaux d'Architecture Moderne (CIAM) sont à l'origine de onze cycles de conférences. Ces congrès portaient sur différents sujets d'urbanisme et d'architecture. The Heart of the City correspond au huitième regroupement des CIAM.

8. Dans son plan de restructuration de la ville de Chandigarh (Inde) Le Corbusier définit sept types de voiries (7V) spécifiques à l'usage et surtout la vitesse qu'elles supportent. Ce concept de spécification a pour but de séparer franchement les différents flux dans la ville.

Le rapport de Colin D. Buchanan, considéré comme le témoin européen principal, ne fait pas, à travers les solutions proposées, l'apologie de la voiture. Au contraire, il en mesure tous ses effets négatifs sur l'espace urbain. Cependant, il admet son caractère irrépressible, et de fait, la nécessité de travailler sur la ville pour accepter son emprise et son usage. [Buchanan, 1963], [Bayle and Warnier, 1993b].

Cette époque est marquée par un contexte économique hautement favorable aux projets de grande ampleur. Ainsi, les prescriptions vont, dans les années 60, faire l'objet de projets concrets dans de nombreuses villes d'Europe et d'Amérique du Nord. En Angleterre, ces applications vont se traduire par la construction de Ring Road [Cardia, 1999] Paris n'échappe pas à cet élan, avec l'élaboration d'un boulevard périphérique qui s'appuie sur le tracé des enceintes historique de la capitale. Il s'étend sur une longueur de 35,04 km et dispose de trente-huit portes permettant de rallier rapidement le centre de Paris mais également tous les centres urbains. La France, ou encore la Belgique, vont également s'orienter vers la création de nouveaux « centres urbains » sur dalles séparant les flux piétons et automobiles, et intégrant également des espaces dédiés au secteur d'activité tertiaire alors en pleine émergence.

1.2.1.3 Le constat des grandes infrastructures de transport aujourd'hui

Ces grandes infrastructures de transport routières ou ferrées apparaissent aujourd'hui comme des objets indispensables au fonctionnement urbain. Mais le constat sur ces grands linéaires de voiries est mitigé. Les infrastructures saturées et intrusives sont remises en question et sont au cœur de réflexions concernant leur évolution, leur requalification ou encore leur intégration.

Très vite, les infrastructures de transport, qu'elles soient routières ou ferroviaires se sont confrontées à une réalité des flux dépassant de loin les prévisions établies. Les exemples de ligne A du RER ou encore du boulevard périphérique sont plus que parlants. Pierre Zembri revient dans la genèse du RER sur la saturation du RER A[9] [Zembri, 2003]. En effet, à peine quelques années après l'inauguration de son premier tronçon, la ligne régionale connait une affluence dépassant ses capacités et se retrouve rapidement en état de saturation. Elle correspond aujourd'hui à la ligne la plus empruntée d'Europe. Même constat pour le boulevard périphérique, dont la circulation en heure de pointe se résume à des embouteillages interminables. Dès sa mise en service, la voie rapide est prise d'assaut par les automobilistes. La capacité du boulevard s'avère très rapidement insuffisante pour accueillir puis réguler le débit circulatoire qui s'y engage.

Depuis l'extérieur, cette activité excessive est perçue de plus en plus négativement, au regard des nuisances environnementales qui en émanent. Une atteinte certaine à l'ambiance urbaine locale, aux abords de l'infrastructure, s'ajoute à l'effet de coupure. Cela accroit considérablement la réaction de rejet des populations vis-à-vis de ces importantes voiries.

9. La ligne A du RER s'appuie sur un axe Est-Ouest de la métropole, en passant par le centre de Paris et le centre d'affaire La Défense.

Le processus de densification urbaine en marche se confronte à l'emprise très forte des grandes infrastructures. Il s'impose alors une pression mutuelle entre logique urbaine et logique de transport. Joël Idt et Stéphanie Leheis ont notamment abordé ce décalage et leurs effets dans leurs travaux de terrains. La coupure est un parfait exemple d'effet de cette confrontation de logique. La densification concerne également les réseaux. En effet, l'approche des centres urbains implique une concentration de ces infrastructures permettant de desservir et de connecter les centres urbains des périphéries. L'illustration ci-dessous permet de visualiser la concentration et l'enchevêtrement de réseaux autoroutiers et ferrés dans Paris et ses trois départements limitrophes : la Seine Saint Denis, le Val de Marne et les Hauts de Seine (Fig.1.9).

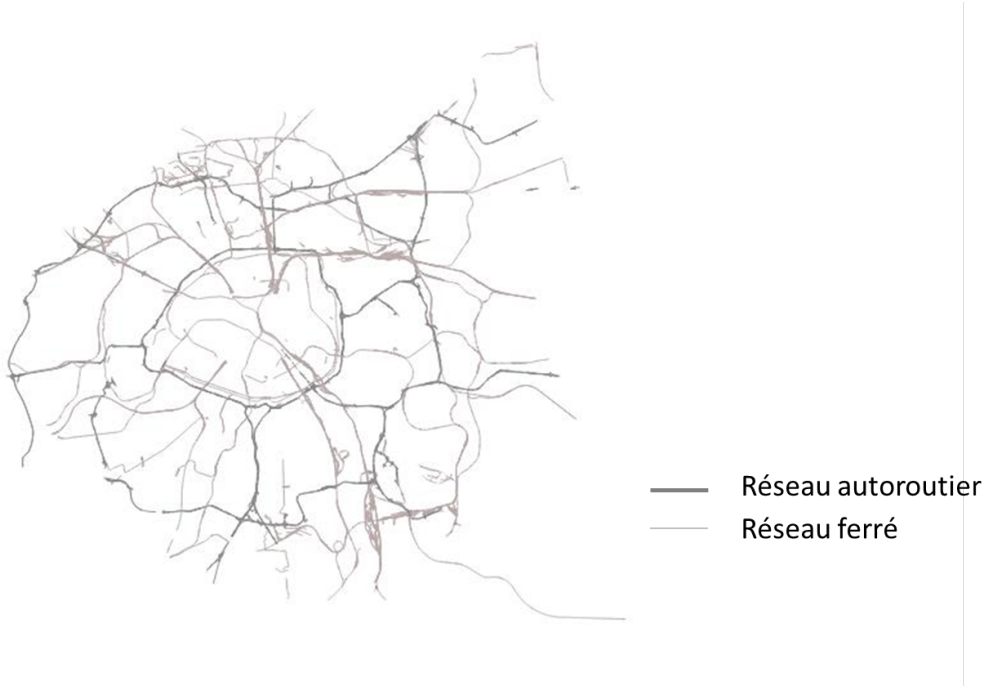


FIG. 1.9 – *Réseaux autoroutiers et ferrés à Paris, et les départements de la Seine Saint Denis, du Val de Marne et des Hauts de Seine (données issues de la BD Topo IGN)*

1.2.2 Les infrastructures de transport : éléments d'un réseau urbain

1.2.2.1 Un réseau urbain d'infrastructures

Les infrastructures de transport routières et ferroviaires peuvent dans un premier temps être apparentées à des objets techniques simples. Il s'agit de linéaires de voiries reliant un point à un autre, dimensionnés pour une vitesse et une capacité. Ce linéaire peut se connecter en un ou plusieurs points à d'autres voies. Elles peuvent se manifester au sein de l'espace urbain, de cinq manières différentes (Fig.1.10) [Chandon, 2013]. Tout d'abord la voirie peut être enterrée. Il s'agit alors d'une infrastructure en tunnel. La plupart des lignes de métro parisiennes ou londoniennes sont de ce type. L'infrastructure peut ensuite être en tranchée ouverte ou couverte. Il s'agit donc de voiries en déblais, autrement dit en contrebas des rives urbaines de l'infrastructure. Le boulevard périphérique parisien au niveau de Porte d'Italie illustre l'infrastructure en tranchée ouverte et au niveau de la porte des Lilas, en tranchée couverte. L'infrastructure peut également être sur talus, et courir au

niveau topographique de l'espace urbain qu'il traverse. Enfin, elle peut être édifiée sous la forme d'un viaduc. Ce type de configuration permet de faire abstraction de l'espace urbain qu'elle traverse. Les autoroutes A55 et A557 à Marseille sont des exemples de voiries autoroutières traversant la ville en superstructure.

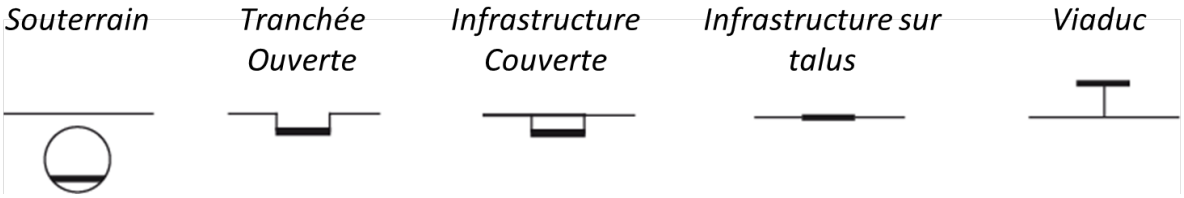


FIG. 1.10 – *Typologie basée sur la relation de l'infrastructure de transports au sol urbain [Chandon, 2013]*

Outre cette description purement géométrique, l'infrastructure n'est pas un objet déconnecté et indépendant. Il constitue une pièce d'un réseau beaucoup plus large et complexe. L'action de relier et de se connecter à d'autres linéaires reflète l'appartenance et le rôle d'une infrastructure de transport, dans un système de voies que décrit le réseau. Gabriel Dupuy en propose la définition suivante : « Le réseau technique urbain apparaît finalement comme un équipement de mise en relation physique et de mise en rapport social d'éléments localisés du système urbain, comme équipement de solidarité urbaine. » [Dupuy, 1984]. Cette définition attribue au réseau une dimension territoriale indéniable. Le chercheur ne se restreint pas ici au simple réseau de déplacement, il considère l'ensemble des réseaux techniques qui alimentent et maillent les villes. Le réseau de transport est particulièrement concerné par cet ancrage urbain. Il s'agit d'ailleurs, selon Antoine Brès, du réseau présentant la plus forte territorialité [Brès, 1998], lui conférant ainsi une portée urbaine, politique et même sociale [Dupuy, 1991]

Jean-François Gleyze appuie ces propos et considère le réseau comme un vecteur d'échange. Il s'appuie, pour poser les bases de son travail, sur une définition proposée en 1987 par le *Groupe Réseau* [Gleyze, 2005]. Il se concentre principalement sur les réseaux de transport et précise que ces réseaux particuliers « organisent les déplacements des personnes et des marchandises ». Cet énoncé pointe une différence majeure avec les autres réseaux : leur importante matérialité [Leheis, 2011]. Cette affirmation se confirme d'autant plus pour les grandes infrastructures de transport introduites ci-dessus. En effet, la configuration et la dimension des autoroutes et voies ferrées urbaines en font des infrastructures pourvues d'une matérialité particulièrement importante, voire imposante.

Cette forte matérialité, évoquée ici, octroie un caractère structurant aux réseaux. Ces derniers s'apparentent à des trames qui dessinent la ville et qui semblent orienter son développement. Jean-Marc Offner met en garde sur cet « effet structurant » conféré aux réseaux de transport. Il s'appuie sur l'exemple du réseau ferroviaire pour mener son argumentation. Selon lui, si des modifications dans les pratiques et la mobilité semblent rapidement opérées lors de l'implantation d'un élément de réseau, d'une infrastructure ; les effets de croissance, de valorisation, etc. ne sont quant à eux pas si évidents [Offner, 1993]. L'auteur tient, dans son article, à démystifier l'effet déterministe attribué aux transports et aux infrastructures qui les supportent. Des études à long termes, comme celle rapportée

par Denise Pumain sur l'arrivée du « chemin de fer » et la croissance des villes tendent également à nuancer les transformations urbaines souvent suggérées comme exclusivement inhérentes à l'implantation de ces réseaux [Pumain, 1982].

Jean François Gleyze considère et détermine une topologie caractéristique d'un réseau métropolitain. Sur ce même principe, Frédérique Hernandez propose un modèle générique d'un réseau de voies rapides d'agglomération. Elle distingue alors deux types de voies : les radiales et les circulaires « qui associées permettent de réguler, canaliser et redistribuer les flux ». Elle considère que chaque réseau au sein d'une métropole se rapporte à ce modèle, ce dernier variant en fonction des données propres au contexte des cas étudiés (Fig.1.11)[Reigner et al., 2009] [Hernandez, 2015].

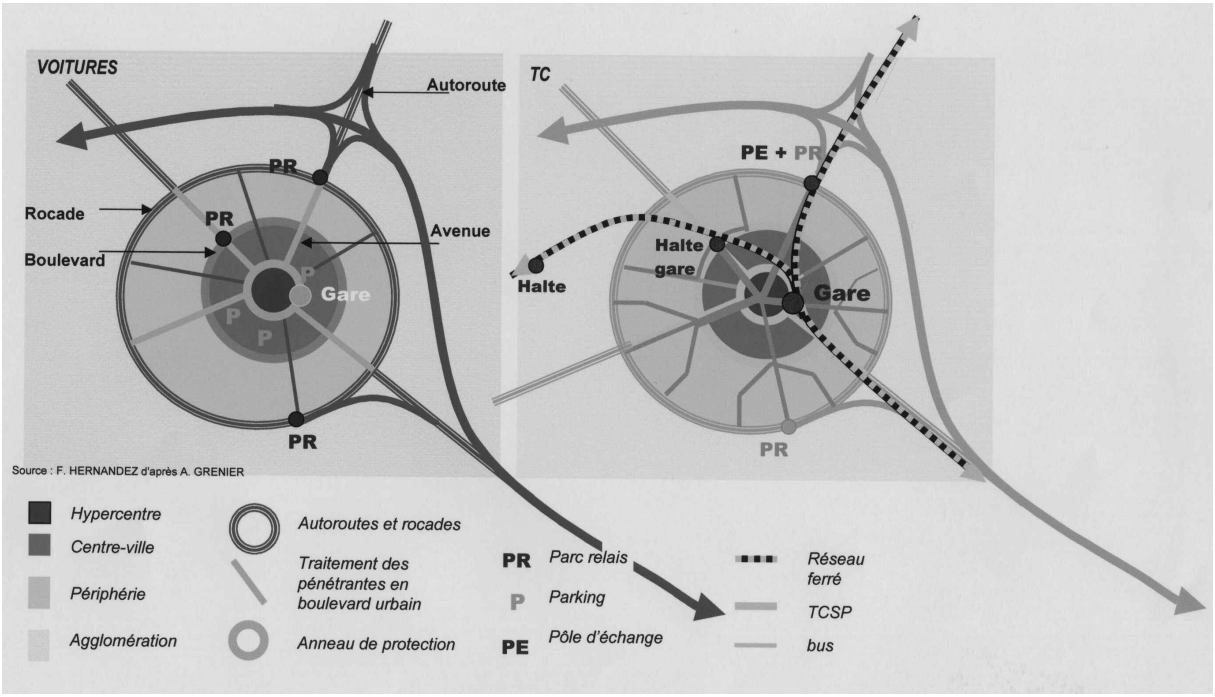


FIG. 1.11 – *Le modèle générique d'organisation de la circulation porté par les agglomérations pour structurer un territoire compétitif [Reigner et al., 2009]*

Ces réseaux mettent en relation physiquement (matérialité) des espaces urbains à différentes échelles (territorialités). Il s'agit plus précisément, pour le réseau de transport de mailler, desservir et traverser ces espaces.

1.2.2.2 Les interdépendances entre ville et infrastructures de transports

De nombreuses recherches se sont portées sur la problématique d'articulation entre espace urbain et infrastructures. La littérature scientifique offre un riche panel de réflexions à toutes échelles. Antoine Brès indique que ce thème de recherche est peu récent ou innovant mais que la problématique qui l'anime, en revanche, évolue continuellement [Brès, 1998].

Les premiers questionnements et débats concernant cette articulation portent sur « Qui déter-

mine qui ? », « Qui influe sur qui ? ». Stéphanie Leheis, dans son travail de thèse s'est penchée plus en détail sur la question. Plus précisément, elle décrit les différents modèles utilisés pour aborder et décrire les dépendances entre ville et infrastructure de transport. Ces courants, au nombre de trois, divisent les déterministes, les interactionnistes et les évolutionnistes [Leheis, 2011].

- Le modèle déterministe s'attache à considérer l'infrastructure comme moteur dans la construction et la modification du territoire. Ce dernier est alors dépendant de l'infrastructure.

- Le modèle interactionniste, pour sa part, base sa réflexion comme son nom l'indique sur les interactions entre infrastructure et territoire. Ce courant s'appuie sur une relation et une évolution indissociable et concomitante.

- Enfin le modèle évolutionniste, à l'inverse de la pensée déterminisme, considère que le territoire définit et conduit son réseau, et de fait, les infrastructures qu'il supporte [Leheis, 2011].

En sortant un peu de ces modèles, des recherches et projets se sont concentrés sur la manière de considérer les réseaux dans l'urbanisme, dans la conception et la programmation urbaine. A ce sujet, les travaux de Gabriel Dupuy offrent des réponses et un champ de réflexion très intéressant [Dupuy, 1991]. Il y dénonce les aberrations issues d'une réflexion déconnectée entre ville et réseaux. Il impute notamment au courant fonctionnaliste la dissociation franche des deux. Cette approche a notamment conduit à la sectorisation fonctionnelle de l'urbain, et donc des réseaux de transport. L'auteur attribue et revendique une forte territorialité du réseau, comme évoqué précédemment. Celle-ci se perd alors si la considération ne porte que sur des réseaux et non sur un « urbanisme des réseaux ».

D'autres chercheurs et urbanistes ont cependant composé avec les deux objets. Si certains considèrent Haussman comme le précurseur de ce précepte, Idelfonso Cerda est, selon Gabriel Dupuy, la référence en termes d'urbanisme des réseaux opérationnels. Il adopte, dans l'élaboration du plan de Barcelone et de son maillage, une « approche globale des réseaux dans leur rapports avec l'espace ». Les voies de circulation deviennent éléments de la forme urbaine. L'architecte Franck Llyod Wright, dans sa vision utopique du quartier Broadacre City, en est un second exemple souvent évoqué. Il y réfléchit de front formes urbaines et circulation.

Il s'agit donc bien ici de stratégie d'insertion des infrastructures au sein du milieu urbain. Caroline Gallez s'appuie notamment sur le discours de Gabriel Dupuy pour mener sa recherche sur la coordination urbanisme et transport [Gallez, 2014]. Selon elle, ces deux thèmes sont abordés dans leur conception selon deux logiques différentes. Alors que les transports et réseaux ont tendance à suivre une logique de rentabilité « les urbanistes, qui ne pourraient ignorer totalement le développement des réseaux appréhendent cette question sous un angle essentiellement technologique et peinent à anticiper les conséquences en termes d'évolution des comportements ou d'usage de l'espace urbain. ». Cette observation est révélatrice du fossé qui s'instaure entre la planification urbaine et la planification des réseaux.

Pour Albert Lévy, infrastructure de transport et espace urbain traversé s'inscrivent également dans deux logiques bien distinctes et même « antagonistes ». L'infrastructure suit, selon lui, une logique « monofonctionnelle, monosémique, technique, sectorielle ». Par opposition l'espace public décrit un caractère « polyfonctionnel, polysémique, esthétique, social » [Levy, 1999]. Pour apporter quelques précisions sur ce propos, les aspects poly/monofonctionnels et poly/monosémiques concernent la portée et l'objectif de l'objet. Autrement dit, l'infrastructure de transport est pensée pour relier et connecter un point du territoire à un autre. Il n'a pas d'autre aspiration. L'espace urbain local a quant à lui pour but de supporter l'ensemble des activités humaines. Des logiques très différentes adoptées par des acteurs aux objectifs et compétences bien spécifiques et parfois même contradictoires.

Brice Chandon a développé, dans le cadre du projet CANOPEE, une typologie de stratégies urbaines d'insertion d'infrastructures de transports. Il en définit quatre en s'appuyant sur des critères opérationnels (Fig.1.12). La première correspond au développement d'infrastructure, cela consiste à « créer un nouvel axe majeur de circulation routière ou ferroviaire, ou à intensifier un axe existant de manière à accueillir de nouvelles capacités de trafic pour drainer et desservir un grand territoire. ». Il s'agit donc d'une stratégie centrée sur l'infrastructure de transport. Elle doit, dans l'idéal, tenir compte de l'environnement urbain qu'elle traverse. La deuxième stratégie, l'opération urbaine, s'apparente à l'élaboration d'un projet urbain utilisant les potentiels offerts par l'infrastructure de transport. Il peut s'agir de s'appuyer sur les voies pour composer un nouvel espace moins impacté par l'infrastructure. Viennent ensuite la stratégie d'opération de réparation, consistant à traiter localement l'infrastructure pour diminuer son impact local, et la stratégie correspond aux opérations « intégrées » dont le principe est de penser et traiter mutuellement transport et projet urbain. Ce type d'opération nécessite d'adopter une approche globale du projet [Chandon, 2013].

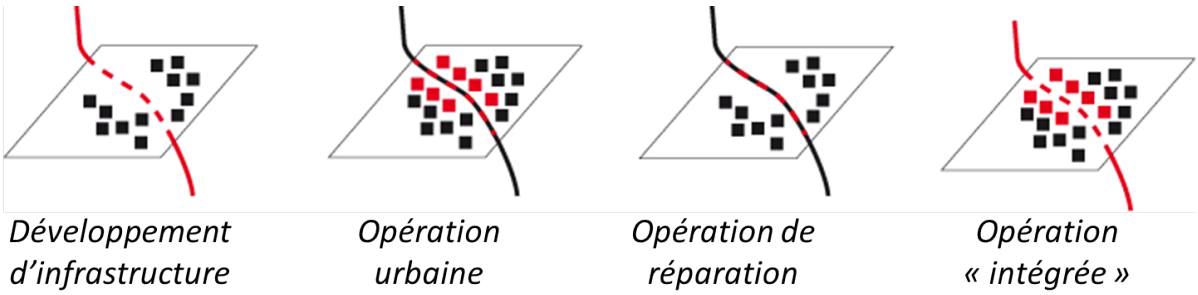


FIG. 1.12 – *Typologie de stratégie urbaine d'insertion des infrastructures de transport en milieu urbain. [Chandon, 2013]*

Bavoux, Beaucire et Chapelon reviennent dans leur ouvrage sur cette articulation dans la planification urbaine depuis la période des lumières [Bavoux et al., 2005]. Les pratiques, des techniques et des modes de pensée ont considérablement évoluées. Aujourd'hui, le questionnement se porte sur le devenir des grandes infrastructures des années 60 et 70, qui ne correspondent plus au modernisme et objets de désencombrement de l'époque et prodigue une perception de plus en plus négative.

1.2.3 Les infrastructures perçues comme des "monstres urbains"

1.2.3.1 Une perception locale fortement négative

Les infrastructures de transports terrestres en milieu urbain s'insèrent dans l'espace urbain sous la forme de larges linéaires souvent infranchissables. Elles sont le support d'une activité circulatoire intense, exclusivement réservé à un type de flux (flux de voitures et autres véhicules motorisés pour les autoroutes urbaines, flux de trains pour les voies ferrées). Cela ne permet pas d'assimiler ces voiries à un élément intégré à l'espace urbain local. La vitesse élevée et/ou la saturation de trafic due a un embouteillage contribuent également à ce sentiment. Elles sont la source de bruit, de pollution et autres désagréments qui s'ajoutent au phénomène de coupure. Ces objets insurmontables et intrusifs sont finalement perçus comme de véritables « monstres urbains » [Prélorenzo, 2007] [Leheis, 2011] par et pour les populations alentours.

Cette perception peut varier en intensité en fonction de la manière dont l'infrastructure est intégrée au tissu. En se référant à la typologie évoquée précédemment (Fig1.10). Les infrastructures en tranchée, sur talus ou en viaduc n'auront évidemment pas le même impact. Les infrastructures en souterrain ne sont pas considérées ici. Du fait de leur nature, elles sont perçues de manière très différente.

La voirie en tranchée et la voirie à niveau sont principalement incriminées pour les nuisances sonores qu'elles provoquent. Le bruit produit par la circulation des véhicules sur ces voiries est d'ailleurs la première source des revendications locales. La cartographie suivante représente le niveau de bruit routier au niveau de la Porte d'Italie (Fig.1.13). Les axes automobiles ressortent très distinctement (en violet sur l'illustration). Parmi eux, le boulevard périphérique parisien se démarque tout particulièrement. Considéré comme voie rapide ou autoroute urbaine, il apparait comme une source de nuisances sonores évidente. Les franges de l'infrastructure, qu'elles soient bâties ou non, sont directement soumises au bruit de circulation. Cela a pour effet direct une altération du confort acoustique sur ces espaces. A noter que cette représentation cartographique révèle les mesures Lden (Level day-evening-night) correspondant à un « indicateur de niveau de bruit global pendant une journée complète » [10].

Cette nuisance impacte le confort des espaces environnants et des populations qui s'y trouvent. BruitParif[11] a établi un classement des six sources de bruits les plus incriminées en Ile de France. Le trafic automobile arrive en première position, tandis que la circulation ferroviaire tient la cinquième place derrière les bruits de voisinage et le trafic aérien.

Lorsque l'infrastructure est à destination d'un flux routier, une seconde nuisance est fortement ressentie : la pollution atmosphérique. La circulation automobile occasionne un grand nombre d'émissions nocives pour le bien-être et la santé des populations alentours. Les études d'AirParif montrent que les émissions issues du trafic automobile contribuent pour une part non négligeable à la pollution urbaine. Dans son inventaire des émissions en 2010, l'Association de surveillance de la qualité de

10. http ://bruit.seine-et-marne.fr/indicateurs-lden-et-ln, consulté en septembre 2014
11. BruitParif est un observatoire du bruit ciblé sur la région Ile de France. Ces principales missions consistent en la mesure du bruit, l'information et la sensibilisation des populations. http ://www.bruitparif.fr

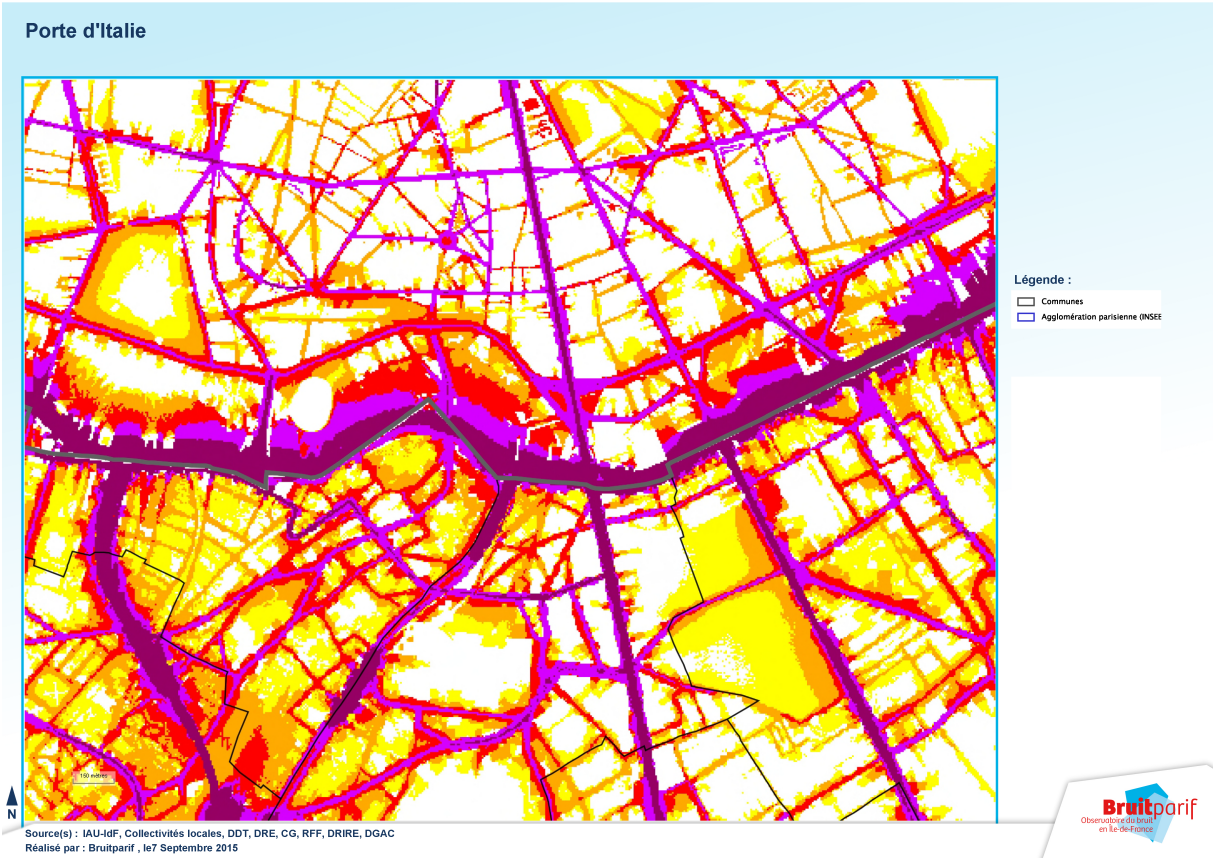


FIG. 1.13 – *Cartographie du bruit issu du trafic routier au niveau de Porte d'Italie - cartographie de BruitParif*

l'air francilien déclare que « Le trafic routier représente plus d'un quart des rejets de gaz à effet de serre, plus de la moitié des rejets d'oxyde d'azote, environ un quart des émissions de particules PM10 et PM2,5 et plus de quinze pour cent des émissions d'hydrocarbures (COVNM). ». La pollution atmosphérique issue de la circulation ferroviaire, bien que bien moins considérée, n'est cependant pas négligeable.

Le thème de la pollution atmosphérique issue de la circulation automobile des autoroutes urbaines est d'ailleurs d'actualité. Cet été (juillet 2015) le maire de Valence a souhaité prendre des mesures pour la réduction de la vitesse de la circulation à 90km/h au lieu de 110km/h sur la portion d'autoroute A7 traversant l'agglomération. Cette décision a pour but de réduire localement les émissions de particules polluantes dans la commune. Cet appel a engendré une réflexion et une décision de la part du gouvernement, puisqu'en août de la même année, la ministre de l'écologie, Ségolène Royal, annonce la volonté de donner tout pouvoir aux maires des communes traversées par une autoroute de statuer sur la réduction de la vitesse maximale autorisée à 90km/h [Le Monde, 2015], [France Info, 2015]. D'après ces articles, une quinzaine de villes en France seraient concernés par la traversée d'une autoroute. L'illustration ci-dessous en présente trois exemples : Limoges traversée notamment par l'autoroute A20, Reims sectionnée par l'A344 et enfin l'exemple médiatique actuel, Valence, par l'autoroute A6 (Fig1.14).

FIG. 1.14 – *Trois exemples de villes traversées par une autoroute*

Les infrastructures de transports, principalement les voiries à niveaux, peuvent également apparaitre comme des zones dangereuses, qu'il vaut mieux éviter. En effet, l'intensité, la nature et la vitesse de circulation rendent la traversée de celle-ci périlleuse voire impossible. Le fait même de parcourir le long de la voirie peut sembler risqué. L'accidentologie est fortement pointée du doigt dans la publication du Victoria Transport Policy Institute [VTPI, 2012]. Ce rapport technique détaille l'ensemble des effets du sentiment d'insécurité qui en découlent sur la santé des riverains et sur leurs modes de vie. Il s'agit d'une conséquence de la vitesse très élevée de circulation sur l'infrastructure de transport, et qui s'avère peu compatible avec des traversées en déplacements doux. Cet aspect ne sera que peu considéré dans ce travail de thèse. En effet, ce travail se focalise sur des grandes infrastructures de transports ne supportant pas de traversée piétonne ou cycliste à même la voie.

L'infrastructure de transport en viaduc est principalement perçue visuellement. Elle s'apparente à un objet extrêmement imposant et constitue de fait une intrusion paysagère importante. Le champ visuel se heurte à la voirie en superstructure. De surcroit, la structure peut être le facteur d'une ombre portée, privant des étages de bâtiments ou d'espaces de lumière naturelle. Cela peut aussi conduire à la création d'atmosphères anxiogènes pour l'espace sous la structure. L'exemple de l'Embarcadero exposé plus haut entre tout à fait dans ce cadre. Ce heurt visuel peut également concerner les autres types d'infrastructures mais dans une moindre mesure. En effet, malgré le caractère peu esthétique d'un grand faisceau de voirie, qu'il soit ferré ou routier, il permet de libérer une percée visuelle, ou du moins ne bloque pas les perspectives paysagères comme un viaduc peut le faire.

1.2.3.2 Une emprise forte au sein du tissu urbain

L'infrastructure de transport, associée parfois à des talus ou zones de retrait, occasionne une importante superficie particulièrement difficile à investir. Dans son étude, TVK estime l'aire du périphérique parisien et de ces espaces non constructibles attenants à 69 hectares [Trevelo and Viger-Kohler, 2008]. En milieu urbain dense, où chaque mètre carré est précieux, les voiries rapides et ferrées sont le support d'une exploitation exclusivement dédiée à la circulation guidée ou motorisée. Outre le fait d'amplifier le phénomène de coupure, ces larges emprises de voiries apparaissent comme un potentiel foncier sous-exploité en état. En mai 2015, un colloque [12] s'est tenu, portant sur l'avenir des autoroutes urbaines. A cette occasion, Frédérique Hernandez évoque que ces voies rapides

12. Il s'agit du colloque *Ville et autoroute : vers une réconciliation ? enfouir, recycler, métamorphoser...*, 26 mai 2015 et porté par la VTIF, la FNAU et les communautés urbaines de France. http ://www.fnau.org/file/news/Colloque

constituaient de « véritables enjeux fonciers ».

L'infrastructure de transport peut également, du fait de sa grande inertie et de la proportion importante d'espace qu'elle consomme, aller à l'encontre d'éventuels projets concernant l'une des deux rives (voire les deux). Sa géométrie (large linéaire) et son activité constituent de réelles contraintes et délimitent franchement un espace considéré.

1.2.3.3 Infrastructures et formes urbaines : deux objets distincts pour deux échelles, deux vitesses

Cette divergence résulte, entre autre chose, de la différence d'échelles d'inscription et de fonctionnement de ces deux objets urbains. Infrastructure de transport et espace urbain local s'expriment et évoluent selon deux échelles bien distinctes, aussi bien du point de vue spatial que temporel.

Antoine Beyer s'attache à analyser ces deux objets par le prisme des échelles [Beyer, 2005]. Il admet la différence d'échelles spatiales et temporelles qu'ils peuvent entretenir. Ainsi il décrit trois rapports possibles entre ces échelles : un rapport « d'adaptation », un rapport de « contradiction » et un rapport d' « articulation ». Dans le cas d'une grande infrastructure telle qu'on l'entend dans ce travail, le rapport est majoritairement contradictoire, d'après l'auteur. L'infrastructure doit permettre de relier un point à un autre aussi efficacement que possible. Les grandes infrastructures voient leurs nœuds fortement espacés et répartis sur un territoire large (agglomération, région, inter-région, etc.). Elles remplissent donc leur objectif entre ces différents points. En dehors de ces nœuds, considérés par Beyer comme l'interface, ces deux échelles n'établissent aucun lien communiquant ou accommodant et se heurtent même parfois l'une à l'autre.

Cette différence et contradiction scalaire s'exprime également sur la dimension temporelle. En effet, infrastructure de transport et espace local n'opèrent absolument pas sur la même temporalité de fonctionnement. La différence de vitesse d'usage qui fait d'ailleurs également référence à la différence d'échelle spatiale illustre bien ce propos. Ces deux entités sont également animées par deux vitesses très différentes, avec notamment une vitesse très élevée concernant l'usage de l'infrastructure. Cette observation parait évidente de prime abord. Pourtant cette différence de rythme induit un effet fortement répulsif de l'infrastructure de transport envers l'espace en frange de celle-ci. Rémy Allain parle même de « téléscopage » pour qualifier la promiscuité de ces deux vitesses urbaines [Allain, 2004]. De ce contraste émane également le sentiment d'insécurité évoqué dans certains quartiers lorsqu'il est question de traverser les voies de l'infrastructure.

1.3 La question du traitement des infrastructures au sein des espaces urbains traversés

Face à cette perception majoritairement négative de l'infrastructure de transport par l'espace environnant, la question du traitement de ces grands linéaires au sein de l'espace urbain devient centrale dans de nombreux projets, notamment des projets de renouvellement urbain.

1.3.1 Modifier l'infrastructure pour réduire le problème

1.3.1.1 Modifier l'image de l'infrastructure

Une première manière de procéder consiste à travailler sur l'image de l'infrastructure. Il s'agit donc créer une ambiance ou une identité permettant de dépasser cet aspect de « monstres urbains » et de fait, de prétendre à une meilleure acceptabilité des nuisances émanant de la voirie et de son activité. Ici, l'infrastructure de transport et le flux de circulation rapide qu'elle supporte ne sont absolument pas réduits (en termes de capacité ou d'emprise) ou modifiés.

La Parkway est un concept nord-américain, conçu par le paysagiste Olmsted en 1981. Elle s'apparente à une grande voirie routière urbaine, dont la vitesse est moins élevée qu'une autoroute. Mais la plus grande différence avec cette dernière est son but et son traitement paysager. Ces voies, initialement prévues pour conduire les citadins vers des parcs, forets et autres poumons verts, bénéficient dès leur conception d'un traitement paysager particulier et extrêmement végétal. Elles s'insèrent d'après Olmsted dans un « système parc ». La Parkway doit constituer le début d'une promenade urbaine vers la campagne et la nature [Werquin and Demangeon, 1998]. Ces infrastructures ont une identité très marquée et appréciée. Point qui ne caractérise absolument pas les grandes infrastructures présentées en début de chapitre. La transformation de ces dernières en Parkway parait cependant peu envisageable. En effet, leur identité leur est en grande partie conférée du fait de leur objectif et leur insertion dans un réseau de promenades et de loisirs.

1.3.1.2 Déplacer le problème : les contournements

Certaines collectivités ont choisi une solution radicale qui consiste plus à déplacer la source du problème qu'à le résoudre. Si le contexte urbain dense ne permet pas l'insertion harmonieuse de l'infrastructure dans son tissu, une solution consiste à modifier le tracé du réseau pour le faire courir ailleurs. Il s'agit donc d'un contournement des voies, hors des centres urbains, voir même hors d'une aire urbaine. Ce type de traitement permet de déporter intégralement ou pour partie, une circulation transitoire.

L'agglomération de Genève a par exemple opté pour cette solution. L'autoroute au cœur des esprits a donné lieu à une longue discussion entre les différents acteurs concernés ainsi qu'à la mise en place d'une liste de critères hiérarchisés auxquels devait répondre le projet [Werquin and Demangeon, 2004]. La priorité était donnée à la protection de la population vis-à-vis des nuisances issues de l'infrastructure. Suite à cela, la solution de contournement de la ville a été considérée comme la plus adéquate aux besoins définis, puis adoptée. Des exemples français existent également. C'est le cas notamment de Strasbourg, dont le projet de contournement a créé de fortes polémiques depuis 1995. Il s'agit du projet *Grand Contournement Ouest* (GCO) (Fig.1.15). Le but de ce projet est de soulager la portion de l'autoroute A35 passant par Strasbourg et de créer une voie de contournement sur 24 km à l'ouest de la ville [Jansem, 2015]. Outre cet aspect, un objectif d'amélioration des déplacements de *transit*, et de dessertes des villes moyennes à l'ouest de Strasbourg est également affiché [CCI Strasbourg et Bas-Rhin, 2012].

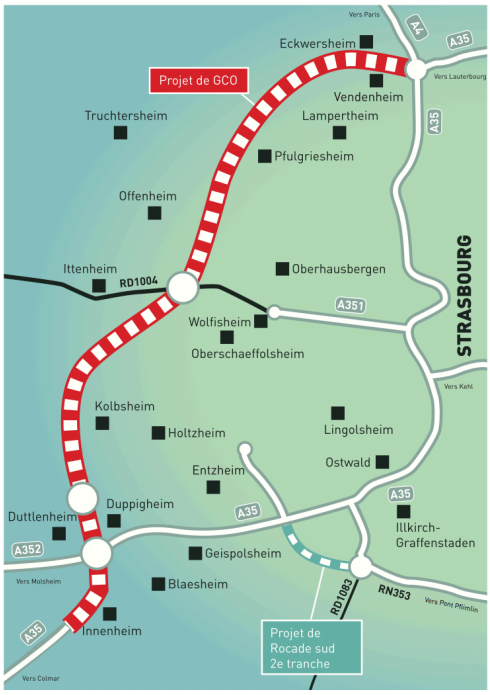


FIG. 1.15 – *Tracé du contournement GCO de Strasbourg [CCI Strasbourg et Bas-Rhin, 2012]*

Le contournement permet de ne pas exposer l'espace urbain aux nuisances évoquées précédemment et ne crée pas de coupure. Elle est cependant discutable à long terme. En effet, si l'aire urbaine s'étend et rattrape spatialement le tracé déporté, ce dernier tiendra lieu de ceinture et contraindra de nouveaux espaces.

1.3.1.3 Retour à une voirie partagée : transformation en boulevards urbains

La requalification des autoroutes urbaines en boulevards urbains offre une solution encore différente. Il s'agit de remplacer un objet infrastructurel lourd par un lieu urbain multifonctionnel et multiflux. Autrement dit, la transformation en boulevard urbain permet de maintenir un flux important mais fortement régulé, de manière à être compatible avec la sécurité et la circulation d'autres types de flux (circulation douce principalement). En plus de l'intervention radicale sur l'infrastructure de transport, cette reconversion s'accompagne nécessairement d'un traitement des franges de manière à concevoir des lieux adaptés aux usages, agréables à parcourir et s'approprier, et qui se greffent facilement au tissu urbain local. Ce type de solution s'accompagne généralement d'une valorisation indéniable d'image et d'identité.

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU) d'Ile de France s'est interrogé sur le devenir des autoroutes urbaines sur la région et principalement du périphérique parisien. Dans le cadre de cette réflexion, Paul Lecroart a mené neuf études de cas internationaux [Lecroart, 2013c], [Lecroart, 2013a], [Lecroart, 2013d], [Lecroart, 2013b], [Lecroart, 2014]. L'objectif de ces études consistait à comprendre le contexte de chaque cas, les logiques programmatiques qui ont guidé ces différents projets, et enfin le bilan et les retours sur les cas réalisés. L'ensemble de ces exemples s'inscrivaient ou s'inscrivent dans une volonté très forte de revalorisation et de redynamisation du site en question.

Ce type de reconversion est-il transposable au cas parisien ? Cette solution présente à la fois l'avantage et l'inconvénient de considérer *a priori* l'infrastructure de transport dans son ensemble. De fait, cette pensée globale favorise une cohérence du projet mais décrit une ampleur très importante aussi bien en termes de mise en œuvre que d'un point de vue financier.

La question qui se pose concerne le devenir du trafic préexistant. En effet, le boulevard urbain supporte un flux de véhicules moindre en comparaison avec l'autoroute. Alors que deviennent ces automobilistes et autres conducteurs ? Le bilan établi à ce sujet par Paul Lecroart semble plutôt très positif. Il évoque une « évaporation d'une partie du trafic ». Il ajoute ensuite lors d'un entretien [13], qu'une des explications réside dans l'adaptation des comportements de déplacement à l'offre de mobilité. De fait, un changement de mobilité, une offre de service de transport en commun, et la mise en place de piste cyclable et balades piétonnes va absorber une partie de la circulation de l'infrastructure initiale. Nous restons cependant prudents sur ce propos. Robert Cervero, Junhee Kang et Kevin Shively se sont également intéressés aux conséquences de la requalification de ces grandes autoroutes urbaines en boulevards urbains. Plus particulièrement, ils ont conduit une étude sur les impacts des ces opérations sur les prix des logements et sur l'évolution démographique aux alentours de la nouvelle voirie. Ils parlent alors d'un changement de paradigme allant d'un principe privilégiant la mobilité automobile vers un principe privilégiant la qualité de vie. Il observe alors une augmentation sensible de prix des logements et un phénomène gentrification aux abords du boulevard [Cervero et al., 2009].

Une autre possibilité permettant de maintenir une circulation rapide en procédant par un enfouissement de la voie et la création au-dessus d'un boulevard urbain. Les déplacements locaux sont alors déportés sur le boulevard, alors que les déplacements à destination plus lointaine continuent à utiliser une voirie dédiée. Ces derniers, soulagés de la circulation locale, sont également amoindris. Cette manière de procéder a été employée dans le cadre du projet BigDig à Boston ou encore à Maastricht avec le traitement de l'autoroute A2 [14] et la création d'un boulevard vert au-dessus (Fig.1.16).

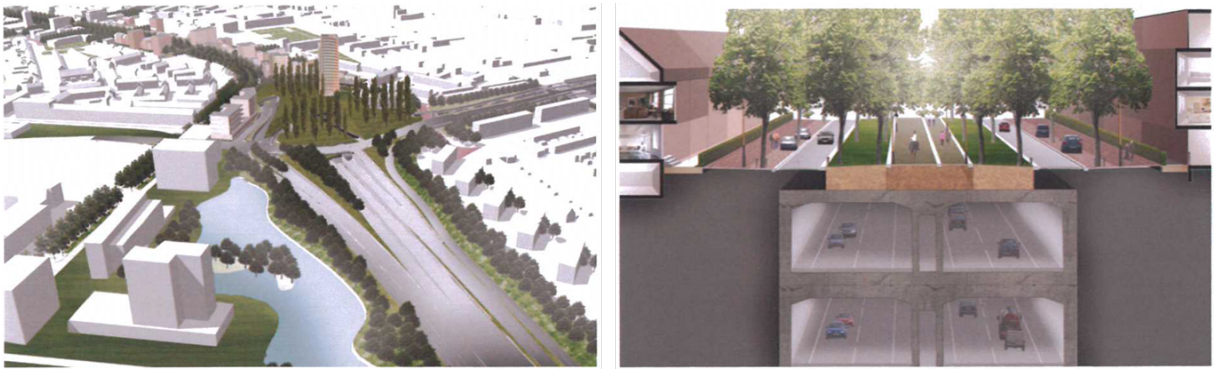


FIG. 1.16 – *Illustrations du projet de Maastricht, consultable sur le site http ://www.a2maastricht.nl/*

13. Entretien issu du reportage « Le périph'... pour toujours ? » publié par Wilfrid Duval le 18 juin 2015 http ://urbaparis.fr/le-periph-pour-toujours/

14. Ce projet a fait l'objet d'une visite, et d'une rencontre avec les acteurs de Avenue2 porteurs du projet dans le cadre du projet CANOPEE

1.3.2 Agir ponctuellement en frange de l'infrastructure

1.3.2.1 Mise en place de petits aménagements ponctuels

Certaines solutions pour l'intégration des infrastructures de transports sont moins radicales et de moins grande ampleur que celles évoquées précédemment. Il s'agit alors d'opérer sur une insatisfaction particulière, et de mettre en place un dispositif adapté à ce désagrément. L'exemple le plus parlant et sûrement le plus courant est l'installation de panneaux ou de murs anti-bruit. Ainsi, pour un site où l'infrastructure se manifeste uniquement par le bruit qu'elle génère, ces petits aménagements peuvent permettre à eux seul d'améliorer l'environnement et le confort sonore alentours. L'intégration d'éléments végétaux aux abords des voies peut être également envisagée pour atténuer le bruit, réduire les émissions de la pollution atmosphérique et cacher visuellement l'infrastructure. Ce type d'intervention s'apparente à une action très ponctuelle et ciblée mais qui peut, dans certain cas, s'avérer efficace vis-à-vis d'un besoin spécifique.

1.3.2.2 Tourner le dos à l'infrastructure

Une autre solution ponctuelle consiste à jouer sur les dispositions urbaines et architecturales pour se protéger ou tourner le dos à l'infrastructure de transport. Il n'est pas rare le long des voies ferrées, d'observer des façades d'immeubles d'habitations dites « aveugles », autrement dit dépourvues de fenêtre. Ces bâtiments s'isolent de l'infrastructure en lui tournant littéralement le dos. Ils se protègent ainsi des nuisances sonores, visuelles et parfois olfactives émanant des voies. C'est le cas de la première photographie (a. Fig.1.17) illustrant une série d'immeubles proche de la station de Vincennes dont les façades côté des voies du RER A ne présentent aucune ouverture.

Une autre possibilité consiste à implanter en frange de voirie des équipements peu sensibles aux bruits, et autres nuisances émanant des l'infrastructure. Des centres commerciaux, cimetières, ou encore des équipements sportifs ou culturels prennent place en bordure de voirie, permettant ainsi de créer un retrait urbain absorbant les désagréments de la circulation. Le périphérique parisien regorge de ce types de traitement [Trevelo and Viger-Kohler, 2008], par exemple le parc des expositions encadre l'infrastructure (b. Fig.1.17). Il faut cependant faire attention à la surenchère de la coupure, telle qu'elle est présentée ci-dessus, à savoir mettre ce qui gêne au bord d'une première coupure. Cela peut permettre de ne pas perdre cet espace mais entraine forcément un épaississement de la coupure. Des bâtiments peuvent également être orientés de manière à agir comme un écran entre l'infrastructure et l'espace urbain. La photographie aérienne (c. Fig.1.17) propose un exemple là encore le long du boulevard périphérique parisien.

Pour autant, tous les bâtiments longeant l'infrastructure de transport ne lui tournent pas nécessairement le dos. Si les perceptions du bruit ou de la pollution générées par la circulation sont présentes, d'autres critères de confort peuvent être privilégiés comme la lumière naturelle ou encore l'ouverture paysagère. C'est le cas par exemple de certains immeubles en bordure extérieure de périphérique parisien. Les occupants de ceux-ci perçoivent les nuisances sonores de la circulation mais disposent d'une vue dégagée sur la ville. L'ouverture paysagère est un critère de valorisation foncière important qui peut par exemple compenser la gêne occasionnée par ailleurs.

FIG. 1.17 – *Exemples de dispositions urbaines et architecturales.*

1.3.3 L'insertion par la verticalité

1.3.3.1 Urbanisme de dalle : superposer et séparer les flux

L'urbanisme de dalle est apparu dans les paysages urbains pendant la même période (et la même réflexion) que les autoroutes urbaines. Même si la technique[15] a permis leur réalisation simplifiée dans les années 30, c'est dans les années 60 que s'imposent ces opérations lourdes. La congestion automobile dans les centres villes [Bayle and Warnier, 1993a], l'essor de l'industrie tertiaire et la pénurie de logements ont conduit à des réflexions autour de l'adaptation de la ville. La dalle est une des solutions proposées à cet effet. Buchanan y consacre même un volet dans son rapport [Buchanan, 1963]. Le principe est de séparer les flux de voitures devenus source de nuisances, d'insécurité et d'encombrement, du flux piéton et plus précisément du lieu de vie de l'usager. L'urbanisme de dalle profite donc de la verticalité pour installer une surface totalement imperméable entre un dessus et un dessous. L'espace supérieur est prévu pour accueillir un espace urbain agréable, de vie, qui deviendra alors une véritable centralité urbaine. L'espace inférieur quant à lui, a pour but de recevoir l'activité de déplacement motorisé, ainsi que tout ce que l'on souhaite cacher mais qui demeure indispensable (divers réseaux, etc.) [Picon-Lefebvre, 1993]. Les flux ferrés sont très vite également concernés par les dalles.

La Dalle des Olympiades à Paris, l'opération de Mériadeck à Bordeaux et bien-sûr La Défense sont des exemples type de l'implantation de l'urbanisme de dalle en France. Ce courant urbanistique a également sévit à l'international.

15. Le brevet Franki déposé en 1930 a permis de faciliter très fortement la mise en œuvre de ce type d'opération. Il s'agit de pieux par injection de béton dans le sol permettant de passer outre la plupart des contraintes géologiques. Cette technique est par ailleurs peu onéreuse [Vayssiere, 1993].

Très vite et encore aujourd'hui, ces opérations sont remises en question. La difficulté qu'elles ont rencontré à s'insérer et se greffer au tissu existant a fait de la plupart de ces espaces, des lieux sous utilisés, voir délaissés. Dans la plupart des cas elles ne décrivent que très peu voir pas du tout de continuité avec l'espace urbain dans lequel elles devraient s'insérer. Capron et Sanchez commentent et analysent les dalles conçues dans la commune de Choisy le Roi. La différence de niveau entre la dalle et le sol provoque une « perspective tronquée » [Capron and Sanchez, 2002] et ne permet pas d'intégrer visuellement l'espace sur dalle au sein de l'espace dans lequel il s'intègre. Les dalles concernées n'ont alors plus rien de support de centres urbains [Bayle and Warnier, 1993a]. Sanchez et Capron citent les travaux de Auge, qualifiant les dalles de « non lieu » urbain [Capron and Sanchez, 2002]. Les retours d'expériences concernant ces opérations sont fortement négatifs, les quartiers sur dalles n'ont pas réussi à tisser des liens avec le tissu existant et ne se sont que très rarement intégrés à la ville. Ces espaces sont aujourd'hui délaissés dans la plupart des cas. La question étant aujourd'hui « que faire de ces dalles ? », « sont-elles reconvertibles ? » [Ider, 2001].

1.3.3.2 Urbanisme souterrain : utiliser le sous-sol comme ressource

Un autre moyen d'utiliser la verticalité pour l'insertion des infrastructures est de se tourner vers les opportunités que peut offrir le souterrain. La densification des villes a conduit à exploiter la verticalité en érigeant des bâtiments de plus en plus hauts. Le travail en volume a également des opportunités de développement vers le bas, en considérant le sous-sol comme une ressource. Il est susceptible de s'apparenter à une importante réserve d'espace et de foncier. Cette solution est déjà utilisée pour la mise en place de réseaux de transports guidés (enterrés) dans de nombreuses villes. La plupart des lignes de métro de Rome, Paris et Londres, en sont des parfaits exemples. Ces possibilités d'utilisation du sous-sol pour l'intégration de réseaux de déplacement, suscitent des conceptions utopiques comme celle de Paul Maymont [16] et sa superposition de strates de réseaux de transport courant sous la Seine (Fig.1.18).

La logique peut également être inversée. En effet, il n'est pas rare de rencontrer des passages pour piétons permettant de traverser une grande infrastructure de transport peu praticable, en souterrain. Cette pratique est utilisée à Singapour par exemple, où certaines voiries automobiles urbaines peuvent compter jusqu'à sept ou huit voies.

Mais le sous-sol urbain présente des opportunités bien plus importantes pour l'aménagement que le simple passage de réseaux techniques. Monique Labbé considère en effet que dans un contexte urbain dense, une possibilité de développement réside dans le sous-sol [Labbé, 2009]. Si depuis des siècles le sous-sol est perçut très négativement, il n'est pourtant pas l'enfer qui l'allégorise. (développer l'ambiance souterraine). Il peut en effet, contenir des espaces extrêmement attractifs. Le Carrousel du Louvre permet d'illustrer ce propos. Pourtant cet équipement n'est pas l'exemple le plus marquant de l'utilisation souterraine. En effet, certains pays ont bien saisi l'opportunité urbaine résidant sous leurs pieds. A Montréal, par exemple, un morceau de ville s'est installé en souterrain. François Monjal et Mélusine Hucault prennent quant à eux l'exemple de Tokyo pour illustrer le développement souterrain de nouveaux espaces urbains. « Ces espaces ne sont plus seulement des lieux

16. http ://utopies.skynetblogs.be/archive/2009/01/08/paul-maymont.html, article publié en 2009

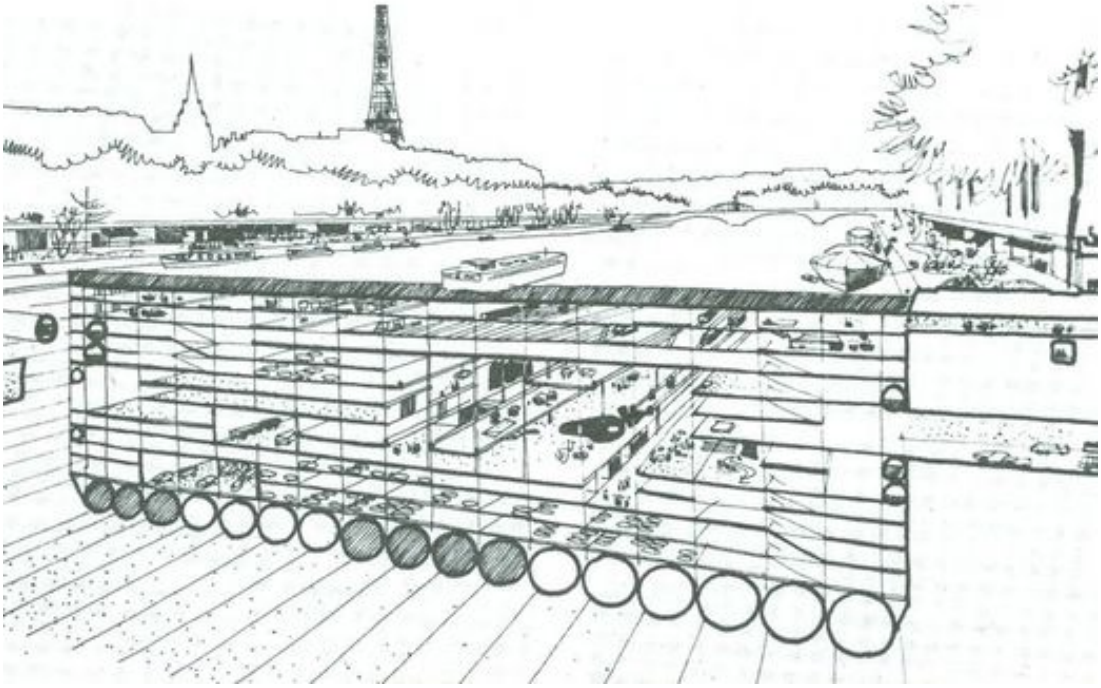


FIG. 1.18 – *Illustration de Paul Maymont, Paris sous la Seine de 1962.*

servants de la ville mais deviennent de véritables lieux de vie, accroissant ainsi les surfaces possibles d'extension des fonctions urbaines. » [Monjal and Hucault, 2014] Il s'agit bien là d'une évolution de paradigme consistant à considérer le sous-sol comme le prolongement logique de l'espace urbain de surface. Il s'agit donc de l'intégrer aux projets de programmation urbaine. Le sous-sol s'apparente à une ressource qui peut également permettre de soulager une surexploitation d'une aire urbaine. « Si l'on veut avancer des raisons plus pragmatiques et fonctionnelles au développement de l'architecture souterraine, il faut les chercher dans la nécessité des agglomérations de se défendre contre l'asphyxie progressive engendrée par la densification du tissu urbain et l'augmentation du trafic motorisé. » (ref). Le but étant bien entendu ici de ne pas s'affranchir de l'espace urbain constitué en se développant sur une nouvelle strate souterraine, mais bien d'intégrer ces deux plans dans une même réflexion.

Monique Labbé évoque justement cette nécessité de penser conjointement et globalement le développement de la surface (du dessus) et de sous-sol (du dessous). Ceci constitue la clé pour la pertinence de l'utilisation de l'épaisseur de la ville. Le sous-sol étant fragile, il est donc impératif de disposer d'une connaissance fine du sous-sol [Labbé, 2003]. Le projet national Ville 10D/Ville d'idées, piloté par l'architecte, s'attache justement à ce problème Afin, d'appréhender le sous-sol comme potentiel pour l'aménagement urbain, la démarche des acteurs de ce projet de recherche consiste pour partie à comprendre le sous-sol, et identifier les points de potentiels. Un travail de valorisation de ce milieu souterrain et méconnu est également engagé. Enfin, ils attachent, un intérêt fort à la réflexion autour du rapport dessus/dessous.

1.3.3.3 Une réponse ponctuelle : la couverture

Un troisième type de solution consiste à utiliser la verticalité pour l'insertion des infrastructures au sein d'un tissu urbain. Il s'agit de la couverture des voies concernées. Cette solution est plus ponctuelle que les deux précédentes. Il s'agit de venir poser un ouvrage de génie civil spécifique, sur une ou deux voies de l'infrastructure. Cette solution de couverture est la solution qui nous intéresse dans ce travail de thèse. nous proposons de décrire plus en détail, dans la partie qui suit ce paragraphe, cet objet particulier qu'est la couverture d'infrastructure de transport.

Si des retours d'expériences existent pour certains de ces projets, il n'existe pas d'évaluation globale de ces ouvrages mal définis. Le travail de recherche mené dans le cadre de cette thèse s'emploie à proposer un moyen d'évaluer ces objets que sont les couvertures, de les positionner vis à vis de la problématique de coupure, et de déterminer si elles peuvent constituer une réponse appropriée pour le traitement local des infrastructures de transport en milieu urbain.

En conclusion ...

La coupure est un phénomène urbain issu de la combinaison d'une évolution de la ville et de sa pratique avec la présence d'un objet qui ne fait plus corps avec la ville ou qui, d'abord implanté hors d'une zone urbaine se retrouve absorbé et ne permet pas en l'état, une connexion fonctionnelle avec la ville. Naturelle ou anthropique, linéaire ou surfacique, quelle que soit la forme qu'elle prend, la coupure occasionne des effets généralement négatifs sur les déplacements, sur la morphologie urbaine, et sur l'ambiance locale.

Les grandes infrastructures de transports routières ou ferroviaires constituent une importante source de coupure en milieu urbain. Du fait de leur emprise importante, ainsi que l'activité qu'elles supportent, elles fractionnent l'espace et sa dynamique en deux. Elles s'avèrent même parfois complètement infranchissable. Outre cette problématique, les infrastructures de transports terrestres apparaissent localement comme de véritables monstres urbains générant bruit, pollutions, et autres désagréments pour les populations alentours.

Il existe plusieurs solutions permettant de répondre aux problématiques posées par la présence de ces grands linéaires de transports au sein de contexte urbain dense et qui tend encore à se densifier. Les traitements peuvent tout d'abord constituer une action sur l'infrastructure en elle même. Il s'agit par là de modifier l'image, l'activité ou même le tracé du linéaire de voirie afin d'en atténuer l'impact. Les solutions peuvent également se manifester par de petits aménagements ponctuels implantés le long des voies d'infrastructures. Enfin, une possibilité est de travailler sur la verticalité de la ville. Si l'urbanisme de dalle a montré ses limites en termes d'insertion urbaine, les couvertures d'infrastructures proposent une alternative intéressante pour exploiter localement le volume urbaine.

Ces couvertures sont des objets techniques urbains consistant à recouvrir localement des voies d'infrastructures en s'appuyant sur une ou deux rives de l'espace traversé. Elles peuvent accueillir ou non, en fonction de leur forme, de l'espace urbain. Cette solution particulière se positionne au centre de la réflexion de ce travail de thèse. Afin d'en aborder l'étude elle mérite avant tout être définie précisément.

CHAPITRE 2

Les couvertures d'infrastructures de transport terrestre en milieu urbain

Initialement édifiées dans une optique de connectivité, de structuration et de développement, les grandes infrastructures de transport routières et ferroviaires posent aujourd'hui question en milieu urbain. Elles constituent en effet de véritables coupures, au cœur d'un tissu urbain qui ne cesse de se densifier. Il convient donc de limiter cet impact intrusif en déterminant notamment les moyens d'insérer ces infrastructures dans leur environnement urbain direct.

L'une des solutions proposées consiste à couvrir les voies de circulation. Ce type d'intervention semble répondre à un certain nombre de problématiques de politiques publiques relatives aux nuisances et aux coupures générées par l'infrastructure. Elle offre par ailleurs la possibilité de générer de la surface foncière en superposition verticale aux voies de l'infrastructure. Cependant, ces opérations de couvertures souffrent de l'absence d'un cadre spécifique et d'un manque de vision globale.

Le but de ce chapitre est de définir précisément cet objet particulier qu'est la couverture, aussi bien dans sa dimension technique que dans sa portée urbaine. L'étude s'appuie sur un large corpus de cas de couvertures, classifiées selon une typologie d'ouvrages de génie civil au sein de montages et de programmations urbaines. Enfin, il convient de s'intéresser aux retours d'expériences français et internationaux en matière de couvertures d'infrastructures de transports en milieu urbain. L'objectif est ici de cerner l'objet d'étude de cette thèse, d'en saisir les défis et les enjeux.

2.1 Exploitation d'une base de données pour l'étude des couvertures

La couverture est une des solutions possibles pour traiter l'impact d'une grande infrastructure de transport au sein d'un milieu urbain (cf. section 1.3 du Chapitre 1 à la page 33), et constitue l'objet au cœur des réflexions menées dans ce travail de recherche. Il est donc primordial d'identifier et de définir précisément cet objet particulier. Pour cela, l'étude s'est d'abord portée sur l'analyse et l'exploitation d'une base de données des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain.

2.1.1 Étude de la base de données de couvertures

L'étude des couvertures menée dans ce travail de recherche s'est très largement appuyée sur une base de données de ces objets particuliers. Elle a été élaborée dans le cadre du projet ANR CANOPEE par Brice Chandon. La construction d'une telle base doit permettre de disposer d'un solide recueil de connaissances sur ces projets et ouvrages. Construite et alimentée sur la base d'entretiens, de visites de terrain, et d'une analyse bibliographique, la base de données établit dans un premier temps le recensement d'un large panel de couvertures existantes en France et dans le monde. Elle compte 107 couvertures au total, dont 49 sur le territoire français.

L'ensemble des couvertures identifiées est, lorsque la disponibilité des données le permet, renseigné sur de nombreuses entrées organisées en différents champs d'étude. L'outil apporte dans un premier temps, une description générale des couvertures. Il permet ensuite de situer précisément chaque couverture dans son contexte géographique. Outre la localisation du projet, ce champs permet de renseigner sur le type d'infrastructure concerné par la couverture. Ainsi, 59.55% des projets recensés concernent des autoroutes et voies rapides urbaines, 36.38% concernent des infrastructures ferroviaires, 4.28% regroupent les deux types de voiries, et le pourcentage restant est non renseigné.

La base s'attache également à la description des contextes urbain et institutionnel. Elle permet de disposer d'informations sur le quartier concerné par le projet, notamment grâce à des indications sur la morphologie et la densité locale. Le contexte institutionnel se concentre particulièrement sur les questions relatives aux jeux d'acteurs, à l'implication des habitants dans les décisions autour du projet, les financements et types de montage.

Un champ d'étude de l'outil est dédié aux informations de « Projet Urbain ». Il permet de comprendre la chronologie du projet, les objectifs affichés et le type de réponse (programmation) mis en place. En considérant uniquement les projets renseignés (sur les objectifs et motivations) 66.56% affichent une volonté de réduire les nuisances sonores issues des infrastructures et 28.6% affirment vouloir réduire la coupure urbaine. Ce champs s'intéresse également aux données générales relatives à la programmation urbaine associée à la couverture. Autrement dit, il s'agit de savoir ce qui est projeté (ou déjà effectif) au dessus de la structure et aux alentours de l'infrastructure contenus dans le périmètre de l'opération. Ce volet apporte la vision urbaine de l'opération de couverture.

Des informations relatives à la structure de l'ouvrage sont également répertoriées. Elles concernent principalement les dimensions, les conditions d'appui et les charges d'exploitation admissibles de la couverture. Par ailleurs des données sur le chantier, les délais et coûts sont également renseignées.

Enfin, la base de données fournit également des renseignements relatifs à l'exploitation des ouvrages. Outre le découpage juridique qui a fait l'objet d'une étude particulière dans le cadre du projet CANOPEE[1], ce champs n'a pu être que très peu renseigné. Cela s'explique en partie par le manque de retour d'expérience à long terme sur ce sujet.

Cette base, très riche en informations et en cas d'étude, s'avère difficile à lire et exploiter sous la forme de tableau. Si elle permet de regrouper l'ensemble des couvertures sur un même support et offre des possibilités de mener des analyses statistiques, elle est cependant moins pratique lorsqu'il s'agit de consulter les renseignements relatifs à un cas choisi. Elle a donné lieu à l'élaboration d'un catalogue. Celui-ci a pour but de compléter l'outil et de permettre une consultation différente et plus abordable de l'information. Il se présente sous la forme de fiches illustrées, par couverture, et organisées par type d'opération et d'insertion de l'infrastructure[2]. Un extrait de ce catalogue est consultable en annexe de ce mémoire. La base de données de couvertures associée au catalogue qui en découle constitue ainsi un réservoir de connaissances essentiel dans ce travail de recherche.

2.1.2 Focus sur l'Ile de France

La base de données comprend trente et un cas de couvertures sur l'Ile de France. Cette concentration de projets en fait un territoire riche en cas d'observation, et en retours d'expériences. Il parait donc approprié d'y porter un intérêt particulier. La figure ci-dessous permet de situer les couvertures sur Paris et sa proche couronne (Fig.2.1).

Hormis le projet Paris Rive Gauche, au niveau de la Gare d'Austerlitz, la plupart des projets se concentrent à la périphérie de Paris. Les grandes autoroutes à portée métropolitaine convergent vers la capitale et se connectent à l'autoroute A86 ou au boulevard périphérique parisien. Les infrastructures ferroviaires, quant à elles, entrent dans la capitale et débouchent sur les quatre grandes gares (Gare de Lyon, d'Austerlitz, du Nord et de l'Est). Les faisceaux de voies ferrées aux abords de ces gares constituent un potentiel foncier très important. En effet, la largeur peut atteindre, par exemple, jusqu'à 350m pour les voies de la gare d'Austerlitz, ou encore jusqu'à 250m au niveau de la gare de Lyon. Les lignes de RER constituant également de grands linéaires de rails et supportant un important trafic passent en souterrain lorsqu'elles atteignent Paris. Cette configuration rejoint encore le modèle de voiries métropolitaines imaginé par Frédérique Hernandez. Le centre (ou hyper centre) de Paris n'est pas concerné par les projets de couvertures puisqu'il n'est pas concerné en surface par les infrastructures.

1. La dimension juridique des projets de couverture et de leur exploitation a été analysé et traité par Rozen Noguellou dans le cadre de la tâche 2 du projet CANOPEE [Noguellou and Preud'homme, 2015]

2. L'exploitation de cette base de données a conduit à la détermination d'une typologie de stratégies d'insertion des infrastructure en milieu urbain [Chandon, 2013] (cf. section 1.2.2.2 du Chapitre 1 à la page 29)

FIG. 2.1 – *Les projets de couvertures sur la métropole parisienne, recensés dans la Base de Données*

Sur la trentaine de couvertures recensée en Ile de France dans la base de données, il apparait que le RER A et l'autoroute A86 sont les grands porteurs de couvertures autour de la capitale. Le boulevard périphérique fait aujourd'hui l'objet d'études à ce propos [Trevelo and Viger-Kohler, 2008]. Le RER A est principalement concerné sur sa branche à l'Est de Paris, au niveau de Vincennes, Saint Mandé et Fontenay-sous-Bois, où l'infrastructure est en tranchée permettant une mise en place simplifiée de l'ouvrage couverture. Le linéaire du RER A en compte six sur son tracé. L'A86 en compte quant à elle sept. Qu'elles soient lourdes comme au niveau de Rueil ou d'Antony, ou légères à Vélizy par exemple, l'autoroute A86 concentre la plupart des couvertures franciliennes.

La base de données comprends uniquement trois couvertures sur le boulevard périphérique : Porte des Lilas, Porte de Vanves et de Paris Nord-Est. Malgré ce chiffre peu important en comparaison avec l'A86, l'anneau autoroutier est au cœur d'une réflexion sur son insertion urbaine. En effet, depuis le début des années 2000, la ville de Paris a adopté une logique de renouvellement urbain de sa périphérie proche et de reconquête de son boulevard périphérique. Plus concrètement, cette volonté se traduit par le lancement du Grand Projet de Renouvellement Urbain, visant à mener des projets de renouvellement urbain sur onze sites en périphérie parisienne. La logique conduisait également à la mise en place du contrat de plan État-région (CPER) 2000-2006. Celui-ci prévoyait notamment le traitement par couverture de trois portes parisiennes : la Porte de Lilas, la Porte de Vanves et la Porte des Ternes et de Champerret.

Depuis son achèvement en 1973, quelques actions ont été menées pour adoucir l'impact du péri-

phérique, mais celles-ci sont restées extrêmement ponctuelles. La ville de Paris souhaite sortir de cette logique purement axée sur de la « protection », et intégrer l'ensemble des problématiques, inhérentes à l'infrastructure concentrique, dans une réflexion globale. Une étude sur l'insertion du boulevard périphérique est alors initiée, à laquelle a notamment participé l'APUR [Beltrando and Hanappe, 2005]. Cette étude s'emploie à analyser le périphérique dans son ensemble et inclue sa couronne. Il permet de comprendre ses rapports au territoire et à chaque espace qu'il traverse, d'en pointer les potentialités et les contraintes. L'infrastructure n'est pas considérée dans l'étude comme une entrave mais comme une opportunité. Le document produit par l'APUR donne des clés de lecture du boulevard et des pistes d'actions. Il propose par exemple, un travail particulier sur les portes, perçues comme des vecteurs de continuité entre Paris et ses communes mitoyennes et des transitions entre les dimensions métropolitaine de l'infrastructure et locale des espaces. Il s'agit à présent d'adapter la ville à l'infrastructure et non plus l'inverse.

Une étude plus exploratoire et prospective a été confiée à l'équipe d'architectes TVK. Elle a pour but d'établir un diagnostic du boulevard et d'apporter des propositions d'aménagement de quartiers, parfois même utopiques [Trevelo and Viger-Kohler, 2008]. Elle a pour but d'ouvrir les réflexions sur la problématique d'insertion du périphérique. Cette question a également été soulevé par des réponses à l'appel à projet « Réinventer Paris » lancé en 2014, et dont les résultats ont été annoncé en février 2016 [3].

2.2 Les couvertures : des objets techniques ...

2.2.1 Définition des couvertures d'infrastructures de transports terrestres

Les couvertures, dont il est question ici, sont des objets de génie civil pensés pour recouvrir complètement ou partiellement des voies d'infrastructures de transport routiers ou ferroviaires. Elles s'appuient sur une ou deux rives d'un tronçon de voiries et s'y superposent, créant ainsi une surface artificielle (Fig.2.2).

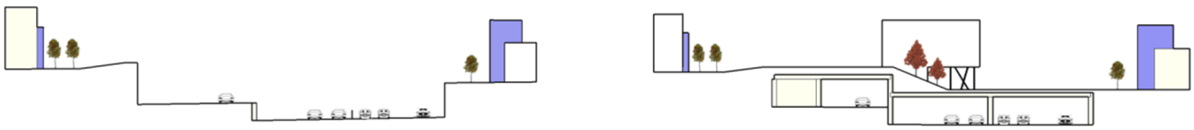


FIG. 2.2 – *Coupes d'une infrastructure de transport en milieu urbain, avant et après couverture*

L'ouvrage de génie civil se décline en deux types : les structures légères et les structures lourdes. Ces deux types se différencient par les charges qu'ils sont en mesures de supporter. Une couverture dite légère n'est conçue que pour supporter sa propre charge. La couverture lourde quant à elle est capable de supporter une activité humaine et urbaine.

3. http ://www.reinventer.paris/

2.2.1.1 Les couvertures légères

Les couvertures légères sont des ouvrages prévus exclusivement pour atténuer l'impact des nuisances environnementales issues de l'infrastructure vis-à-vis des abords directs de voies. Le bruit est la principale cible de ces opérations. La commune du Blanc-Mesnil au nord-est de Paris est traversée par l'autoroute A1. Une couverture (et semi-couverture) légère a vu le jour au-dessus des voies de l'infrastructure en 2004 à l'occasion de l'élargissement de celle-ci. Une mise aux normes phoniques a donné lieu à des dispositifs de réduction du bruit incluant notamment la mise en place d'une couverture légère. Un autre exemple de ce type de structure légère, sur voies ferrées cette fois, se situe dans le sud de la France à Villeneuve-Loubet (Fig.2.3). Ici, une couverture lourde était projetée afin de réduire les nuisances sonores pour les logements et équipements en bordure d'infrastructure. Le contexte géologique local a considérablement augmenté le coût du projet, obligeant ainsi à se réorienter sur une couverture légère des voies.

FIG. 2.3 – *Simulation du projet de couverture légère à Villeneuve-Loubet*

Les couvertures légères présentent plusieurs avantages par rapport aux structures lourdes. Elles sont tout d'abord, pour la plupart du temps, moins compliquées et moins chronophages en termes de réalisation. Leur structure demande également moins de points d'appui, du fait de la charge réduite à soutenir. Par ailleurs, ces structures n'ayant pas pour but d'accueillir une activité, elles présentent une grande modularité dans leur forme ou même leur composition. Elles peuvent être ajourées afin de laisser passer la lumière, elles peuvent adopter une architecture ou une forme esthétique particulière [4].

En contrepartie, ce type de structure n'offre pas la possibilité d'exploiter le dessus pour recréer un sol urbain artificiel en continuité de celui existant. La notion de continuité n'est cependant pas totalement absente dans ce type d'opération puisque la couverture légère offre des possibilités de reconnecter visuellement les deux rives et de « gommer » ponctuellement l'infrastructure de transport.

4. La tâche 5 du projet CANOPEE propose entre autre un inventaire de solutions innovantes relatives à ces couvertures légères.

2.2.1.2 Les couvertures lourdes

Les couvertures lourdes peuvent accueillir une activité sur leur structure, et même dans leur structure pour certaines. Elles disposent d'une capacité de charge nettement supérieure à celle des couvertures légères. Outre leur capacité à faire écran aux nuisances sonores et atmosphériques, elles sont en mesure de supporter une voirie, un bâtiment, et/ou tout autre type d'espaces urbains.

Initiée dans le cadre d'une ZAC, la couverture de la Porte des Lilas est un exemple marquant de couverture lourde sur le Boulevard Périphérique parisien. Elle se situe à la croisée de quatre communes : Paris, Les Lilas, Bagnolet et Le Pré Saint Gervais. Absente de la programmation initiale de la ZAC en 1993, la couverture apparait en 2000 sous la forme de deux couvertures disjointes : la section Lilas et la section Fougères. Ces ouvrages doivent notamment permettre la réduction du bruit issu de la circulation du périphérique pour les riverains. Ces nouveaux « sols » s'inscrivent dans la continuité des rives du boulevard. Ces portions couvertes ouvrent de nouvelles perspectives en termes de programmation de la ZAC [APUR, 2004]. Outre la création d'écrans sonores horizontaux, les couvertures de Porte de Lilas, offrent un fort potentiel foncier, des possibilités de mises en continuité (réseaux, morphologie, etc.) et de réduction de la coupure. Les ouvrages apportent une opportunité de développer une centralité urbaine. L'illustration suivante propose une photographie de la couverture de la section des Lilas [SEMAVIP, 2010] (Fig.2.4).

FIG. 2.4 – *Photographie aérienne de la couverture de Porte des Lilas, issu du document de présentation de la SEMAVIP « SEMAVIP, 2 portes parisiennes. », consultable sur https ://api-site.paris.fr*

La réflexion autour de la continuité et de la centralité a donné lieu à l'implantation de grands équipements (cinéma, cirques, jardins), d'une extension de la gare routière, de nouveaux tracés pour des lignes de bus notamment. Le projet de ZAC qui a motivé d'autres projets sur les communes

voisines de Paris, a impulsé une attractivité et une dynamique certaine mais qui dans la recherche de réduction du bruit a conduit à des résultats plus mitigés.

Les Rondas de Barcelone sont un autre cas emblématique et fréquemment traité lorsqu'on s'intéresse aux couvertures. Les Rondas sont deux voiries de types autoroutières. La première est la Ronda de Dalt. Elle est comparable à un boulevard périphérique et générait, avant son traitement, une importante coupure infranchissable entre Barcelone et sa périphérie proche [Bouillot and Maurice, 2009]. La Ronda Litoral est quant à elle plus traversante. Elle séparait le centre de la ville et le littoral. Dans les années 80, la ville catalane entre dans une logique de réparation et initie plusieurs projets dans cette optique. Cet élan est encouragé par l'arrivée des Jeux Olympiques de 1992. S'opère alors une action d'intégration des deux Rondas. Ce projet prévoit entre autre la réalisation de couvertures (Fig.2.5).

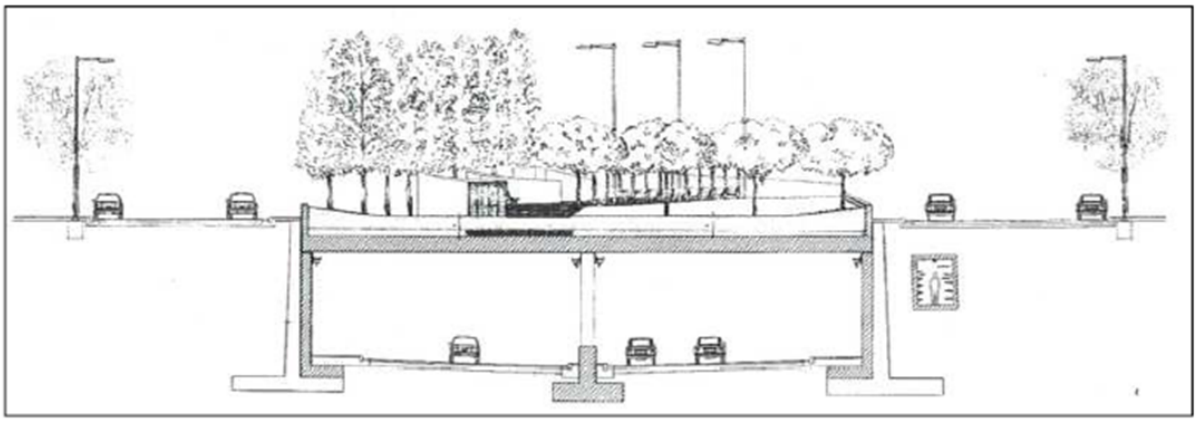


FIG. 2.5 – *Coupe schématique de la Ronda de Dalt par Guy Henri*

La plupart des couvertures recensées dans la base de données sont des structures lourdes. Les exemples sont donc nombreux et variés. Ces couvertures sont principalement de quatre types (Fig.2.6) :

- Les structures voûtées
- Les dalles simples
- Les dalles doubles
- Les dalles ajourées

Les dalles simples et doubles sont les plus couramment répertoriées. Il s'agit des configurations permettant au mieux de recréer un sol urbain artificiel en superposition à l'infrastructure de transport. Autrement dit, outre la capacité potentielle de réduction du bruit, de pollution, et autres désagréments, cette solution de couverture lourde permet d'envisager une augmentation et une diversification de l'exploitation de l'espace initialement dédié exclusivement à l'infrastructure.

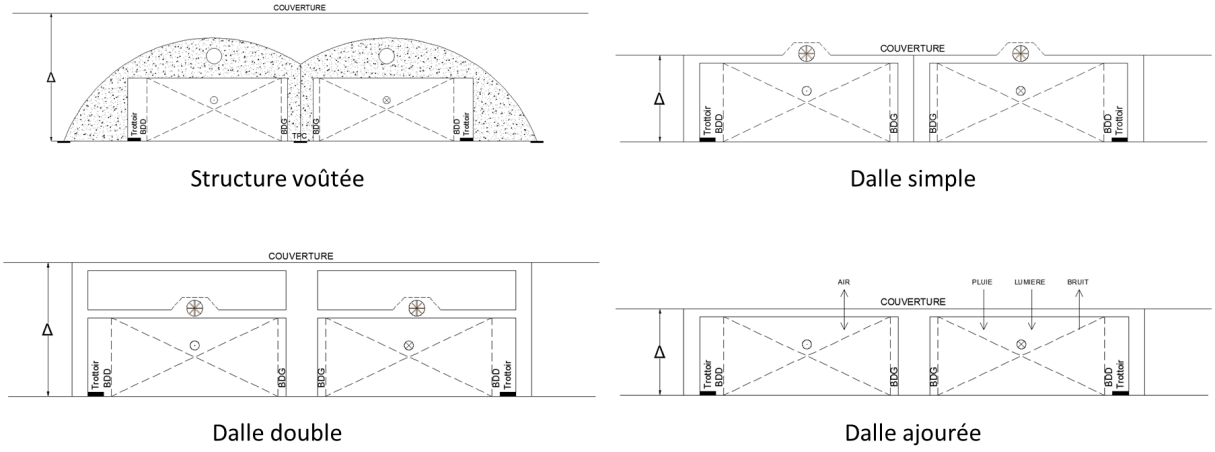


FIG. 2.6 – *Coupes d'une infrastructure de transport en milieu urbain, avant et après couverture [Moussard et al., 2015]*

2.2.1.3 Une structure lourde particulière : les immeubles ponts

L'immeuble pont est un cas particulier de couverture qui entre également dans ce cadre d'étude. Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un bâtiment enjambant les voies d'une infrastructure de transport. La structure diffère quelque peu de celles identifiées dans le paragraphe précédent. Ici, il n'y a pas de dalle de couverture sur laquelle vient s'implanter un bâtiment. Il s'agit de la structure même du bâtiment, qualifiée d'« autoporteuse », qui constitue la couverture. La ville d'Amsterdam utilise ce procédé pour la couverture de Bruggebouwen. Un double bâtiment enjambe l'autoroute A10 (Fig.2.7).

FIG. 2.7 – *Vue nord de l'immeuble pont de Bruggebouwen au-dessus de l'autoroute A10 à Amsterdam.*

Les immeubles-ponts, permettent parfois également d'apporter une réponse technique alternative plus adaptée que la dalle de couverture classique. C'est le cas de la section de couverture de rails en face du cinéma MK2 et de la Bibliothèque François Mittérand pour le projet Paris Rive Gauche. A

ce niveau, la largeur du faisceau de rails mesure 58m. La couverture lourde s'est donc avérée trop compliquée à mettre en œuvre sur ce tronçon. C'est la solution de l'immeuble pont (proposition de Marc Mimram [5]) qui a été retenue.

Dans la suite de ce mémoire, les immeubles ponts sont considérés comme des couvertures lourdes accueillant le bâtiment en question.

2.2.2 Entre couverture et tunnel

La réglementation concernant la sécurité incendie sous les structures varie en fonction de la longueur de l'ouvrage. En effet, passé un certain seuil, des aménagements spécifiques (mise en place d'accélérateurs, mais également accès pompier, etc.) doivent être prévus pour garantir la sécurité des utilisateurs de l'infrastructure de transport concernée en cas de départ de feu. L'intégration de ces installations se répercute nécessairement sur le coût de réalisation.

La réglementation pose trois cas de figure en fonction de seuils de longueur. Le premier concerne les couvertures dont la longueur est inférieure à 300m, qualifiées ici de couvertures « courtes ». Le second regroupe les ouvrages d'une longueur comprise entre 300m et 500m, appelées « tranchées couvertes moyennes ». Enfin le troisième cas de figure concerne les tranchées couvertes sur une distance dépassant les 500m. Pour chacune de ces configurations, le tableau ci-dessous présente les différents aménagements nécessaires pour se conformer à la réglementation (Tab.2.1) [6]. Par exemple, alors que la couverture courte exige la mise en place d'une niche de sécurité et d'une niche d'incendie par ouvrage, les tranchées couvertes moyennes requièrent trois niches de sécurité et deux à trois niches d'incendie et les tranchées couvertes longues, une niche de sécurité et une niche d'incendie tous les 200m. De ces observations (sur l'ensemble des aménagements listés dans ce tableau), émergent les avantages et inconvénients propres à chaque longueur d'ouvrage. Il en ressort que les couvertures dites « moyennes » présentent le moins d'avantages et le plus d'inconvénients [7].

Cette réglementation peut s'avérer être une contrainte importante du fait des écarts de coûts entre les différents seuils. Il s'agit indéniablement d'un critère de décision pour les acteurs des projets. Dans une optique de minimisation des coûts, certains préfèreront se tourner vers une couverture moins longue, voire vers une structure légère. Des solutions alternatives voient également le jour. Sur l'autoroute A6b, au niveau de Gentilly, Arcueil et le Krémelin Bicêtre, il a été choisi par exemple d'alterner des couvertures lourdes et légères pour contourner la norme incendie [Chandon and Ducourtieux, 2015b].

Généralement, il sera considéré comme couverture un ouvrage ne dépassant pas les 300m de long. Autrement dit, les structures qui n'entrent pas dans le cadre de la réglementation tunnel. Cependant, il n'est pas exclu de travailler sur des structures s'étendant sur des distances plus importantes. Le

5. http ://www.darchitectures.com/un-immeuble-pont-paris-a950.html, article publié en 2012

6. Le tableau présenté ici concerne aux infrastructures routières. Les réglementations diffèrent pour les infrastructures ferroviaires.

7. Selon Michel Moussard, ce propos est cependant à nuancer car la ventilation transversale est souvent plus chère que la ventilation longitudinale.

TAB. 2.1 – *Avantages et inconvénients des types de couvertures d'infrastructures routières en fonction des longueurs couvertes [Moussard et al., 2015]*

Solutions	Aménagements particuliers	Avantages	Inconvénients
1. Succession de plusieurs tranchées couvertes courtes (<300m) sans système de ventilation	• 1 Issue de secours vers la surface par tube et ouvrage • 1 niche de sécurité et 1 niche d'incendie par tube et par ouvrage	Coûts de construction et d'exploitation faibles	Tranchée ouverte >100m entre les TC (impact visuel, bruit et pollution)
2. Tranchée couverte moyenne (entre 300 et 500m) avec ventilation longitudinale	• 2 Issues de secours vers la surface par tube • 3 niches de sécurité et 2 à 3 niches d'incendie par tube • Bossages supérieurs ou latéraux pour positionnement des accélérateurs • Murs d'anti-recyclage de fumés à chaque tête	Coûts de construction et d'exploitation limités	• Interdiction de congestion dans le tunnel • Interdiction des TMD • Sécurité limitée en cas d'incendie dans le tunnel • Longueur de la TC limitée à 500m
3. Tranchée couverte longue (>500m) avec ventilation transversale	• Issues de secours tous les 200 m • Niches de sécurité et d'incendie tous les 200m • Bossages supérieurs ou latéraux pour positionnement des accélérateurs • Murs d'anti-recyclage de fumées à chaque tête	• Impact minimal pour les aménagements en surface	• Coûts de construction et d'exploitation plus élevés • Problématique de sécurité si permission des TMD en période de congestion

projet Paris Rive Gauche, par exemple, comprend une succession de couvertures au-dessus du faisceau de rail de la gare d'Austerlitz et sera considéré comme un projet global de couverture.

2.2.3 Des défis techniques

Si la mise en œuvre de ces structures est largement maitrisée dans le domaine du génie civil, elle s'apparente parfois à de véritables défis techniques. Les contextes urbains, géographiques, techniques et réglementaires imposent des contraintes qui peuvent fortement compliquer l'implantation et la réalisation de l'ouvrage de Génie Civil. Ces contraintes concernent principalement les structures de couvertures lourdes.

2.2.3.1 S'insérer dans un contexte urbain dense

Dans le cas de couvertures lourdes, la problématique de mise en œuvre au sein d'un contexte urbain dense semble assez évidente. Il s'agit là d'un défi commun à tout gros chantier dans ces conditions. Il s'agit d'engager la mise en œuvre de l'ouvrage au sein d'un tissu constitué, support de

bâtis, d'espace publics, de réseaux techniques et réseaux de déplacement en fonctionnement. L'objectif est d'altérer au minimum les dynamiques en marche sur les rives de l'infrastructure. Le projet ANR FURET concernait l'étude et des propositions relatives à la « furtivité et l'accessibilité » des chantiers en contexte urbain dense [Miet and Christory, 2011]. Preuve que la volonté de minimiser ces impacts impose nécessairement des contraintes dans la mise en œuvre de ces objets.

Les figures suivantes proposent un aperçu de cette densité sur un cas de couverture d'infrastructure routière, au niveau de la porte de Vanves du boulevard périphérique parisien, et un cas ferroviaire, à Vincennes. Ces deux couvertures mettent en évidence la problématique de densité sur différentes temporalités. Le cas de la couverture de Vincennes se caractérise par un tissu urbain extrêmement serré et dense. La visualisation des parcelles et des éléments bâtis informent de l'état de densité sur les deux rives de l'infrastructure. Cette configuration constitue une importante contrainte pour l'élaboration de travaux lourds relatifs à un chantier de couverture. Cette densité suggère également une forte concentration de réseaux techniques avec laquelle il faut également composer en minimisant les interruptions et/ou réduction de services. L'insertion au sein d'un contexte urbain dense représente une réelle difficulté dans la mise en œuvre de l'ouvrage. (Fig.2.8).

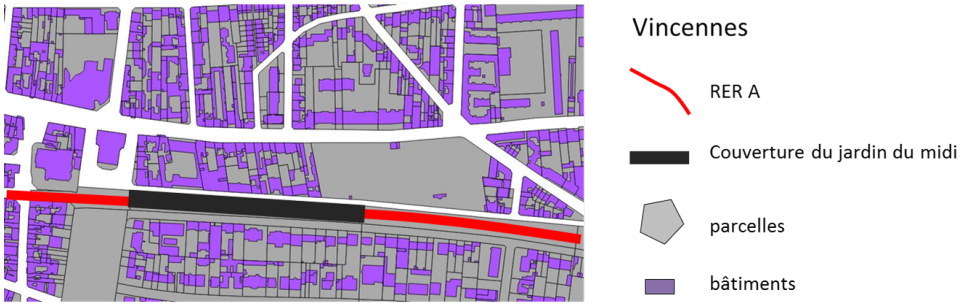


FIG. 2.8 – *Exemples de couverture à Vincennes au sein d'un tissu urbain dense (données issues de la BDParcellaire de l'IGN*

Dans le cas de la Porte de Vanves, le tissu urbain est très peu dense aux abords de l'infrastructure. Le fait de couvrir va pouvoir impulser une densification locale (Fig.2.9).

FIG. 2.9 – *Exemples de couverture à la Porte de Vanves au sein d'un tissu urbain (données issues de la BDParcellaire de l'IGN*

2.2.3.2 Composer avec la topographie

La topographie constitue un autre type de difficulté. En effet, la mise en place d'une structure de couverture peut se heurter à des différences de niveaux du terrain sur lequel elle s'implante. Le projet de Paris Rive Gauche a notamment fait l'expérience du problème. La ZAC, initiée en 1991, s'étend sur 130 hectares, le long de la Seine, au niveau de faisceau de voies de la gare d'Austerlitz. Les couvertures successives (le projet prévoit 26 hectares de zone couverte) ont dû, doivent et devront s'adapter à un sol relativement rugueux (de nombreuses irrégularités topographiques rythment le quartier) et à un terrain qui remonte globalement depuis la Seine vers la rive gauche de la capitale (Fig.2.10).

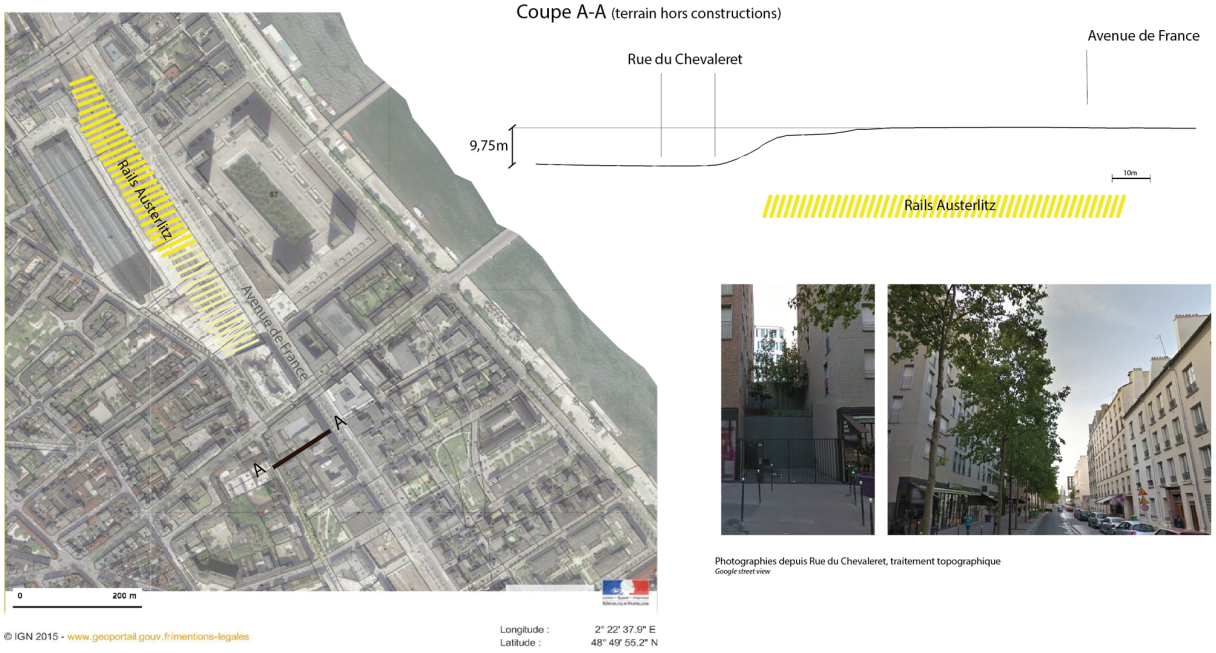


FIG. 2.10 – *Topographie sur le site du projet Paris Rive Gauche*

La hauteur imposée entre la voirie et la couverture peut également engendrer des différences de niveau à traiter. Pour reprendre l'exemple du projet Paris Rive Gauche, la différence de niveau entre l'espace couvert et le niveau naturel du sol atteint 8 mètres à certains endroits (au niveau du secteur Masséna sud avec la rue Chevaleret par exemple).

2.2.3.3 La question contraignante du choix des appuis

Les couvertures du projet de Paris Rive Gauche ont rencontré une autre difficulté technique, celle du positionnement des points d'appui des dalles. Ce problème s'applique plus particulièrement aux couvertures lourdes et concerne plus les infrastructures ferroviaires que les voies routières. En effet, le tracé des voiries recouvertes est dans la plupart des cas défini et en fonctionnement. Il faut alors composer avec leur implantation mais également avec d'éventuelles réglementations qui contraignent d'autant plus le positionnement des éléments de structure. Dans le projet parisien, le choix des appuis a été longuement discuté et fait l'objet d'une importante section de la convention signée entre la SNCF (gestionnaire des voies de d'Austerlitz) et la SEMAPA (Maitrise d'ouvrage du

projet). Le problème des appuis a donné lieu à des adaptations des structures ou des contraintes pour l'aménagement du « dessus » de la couverture (par exemple l'obligation de positionner la cage d'escalier d'un bâtiment au niveau (vertical) du point d'appui, ou encore le choix de l'immeuble pont pour certains secteurs comme évoqué précédemment).

2.2.3.4 Assurer un maintien de service de l'infrastructure lors de la mise en œuvre

La dernière difficulté pour la mise en œuvre d'un ouvrage de couverture concerne le maintien de service de l'infrastructure sujette à couverture pendant la période des travaux. Les chantiers relatifs aux structures de couverture sont d'importante ampleur et nécessitent souvent d'utiliser les voiries existantes. Les voies de circulation concernées font alors l'objet d'un arrêt de service qui peut s'avérer dans certains cas difficile à gérer.

Dans le cas des infrastructures de transports routiers, des déviations ou voies temporaires peuvent être envisagées pour reporter le flux d'usagers sur d'autres itinéraires. Cela peut cependant s'avérer problématique et entrainer un encombrement des voies de substitution. La suppression temporaire d'une partie des voies peut être également envisagée dans certains cas, mais peut cependant occasionner un engorgement local pendant la période de travaux. Certains de ces chantiers sont entrepris sur des créneaux horaires ou des dates où la circulation est moindre, et où la fermeture complète des voies de circulation est susceptible de gêner un minimum d'usagers. Plus concrètement, il s'agit de conduire les travaux pendant la nuit ou les plages de vacances scolaires par exemple.

La mise en œuvre de structures de couverture au-dessus de faisceaux de voies ferrées ajoute un degré de difficulté supplémentaire. Une voie ne peut être déviée. Par ailleurs, la fermeture de voies ne peut se faire que pour un réseau local, pour lequel les utilisateurs ont la possibilité de choisir un nouvel itinéraire. Cela peut être le cas concernant le réseau du métro parisien par exemple. Si une ligne ferme, les voyageurs peuvent se réorienter vers d'autres lignes ou d'autres modes de déplacement. Il est courant de voir la mise en place de lignes de bus temporaires pour absorber une partie du service. Le trafic est alors déporté sur d'autres branches du réseau disposant déjà d'un trafic propre. En revanche concernant des axes métropolitains, régionaux voire internationaux, la fermeture de voies conduit à une réorganisation complète des flux ferroviaires, et dans la plupart des cas à une réduction du service de transport.

2.3 ... au cœur de projets urbains

2.3.1 Des projets de couverture dans une optique de renouvellement urbain

Les couvertures entrent dans des logiques urbaines bien plus larges que la simple implantation d'un objet de génie civil. En créant un espace artificiel reliant les deux rives d'une infrastructure, la couverture prend littéralement part au tissu urbain. Ce dernier présente une morphologie, des réseaux, une ambiance et supporte une dynamique urbaine. La couverture doit permettre de constituer un prolongement cohérent à tout cela. Autrement dit ce nouvel espace doit se raccorder logiquement aux rives de l'infrastructure, principalement par le biais de l'aménagement du dessus. L'ouvrage doit

également gérer d'éventuelles continuités verticales et assurer le maintien de l'activité de déplacement couverte.

La création de ce nouveau sol (plus particulièrement lorsqu'il s'agit de couvertures lourdes) permet d'intensifier et de diversifier l'espace dédié à l'activité circulatoire de l'infrastructure. Autrement dit, il s'agit d'installer le moyen et support technique permettant de recomposer et redynamiser un espace plus ou moins meurtri, mais surtout « sous utilisé ». Les couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires s'apparentent, de fait, à des objets permettant de conduire des opérations de renouvellement urbain [8]. Elles s'inscrivent tout à fait dans la logique de *faire la ville sur la ville*. Le principe consiste à utiliser le potentiel existant des villes à savoir, dans ce cas, le volume au-dessus des faisceaux de voiries ferrées ou routières.

Ces couvertures sont des réponses à des problématiques de politiques publiques au regard des nuisances générées par les infrastructures de transports, de la coupure qu'elles induisent mais aussi au regard du potentiel foncier qu'elles représentent. Joël Idt et Stéphanie Leheis [Idt and Leheis, 2015] se sont notamment intéressés, dans le cadre du projet CANOPEE, aux types de montages des opérations de couvertures, à travers l'étude de six cas de projets de couvertures. A Paris Rive Gauche par exemple l'opération urbaine de couverture prend la forme d'une ZAC. Les ouvrages peuvent également intégrer des opérations de grande envergure comme c'est le cas pour l'enfouissement de l'autoroute A55 à Marseille qui s'inscrit dans un projet d'intérêt national. A Bruxelles, la couverture du RER se dessine avec l'arrivée de celui-ci, la logique étant à l'inverse des deux exemples précédents, principalement orientée transport. Les logiques urbaines et logiques de transport sont abordées de manière déconnectée, mutualisée ou intégrée ; et les montages d'opération se déterminent en fonction de l'orientation adoptée. Par ailleurs, la situation géographique et administrative (intercommunalité par exemple) peut également influer sur le choix du montage.

2.3.2 La couverture comme couture urbaine

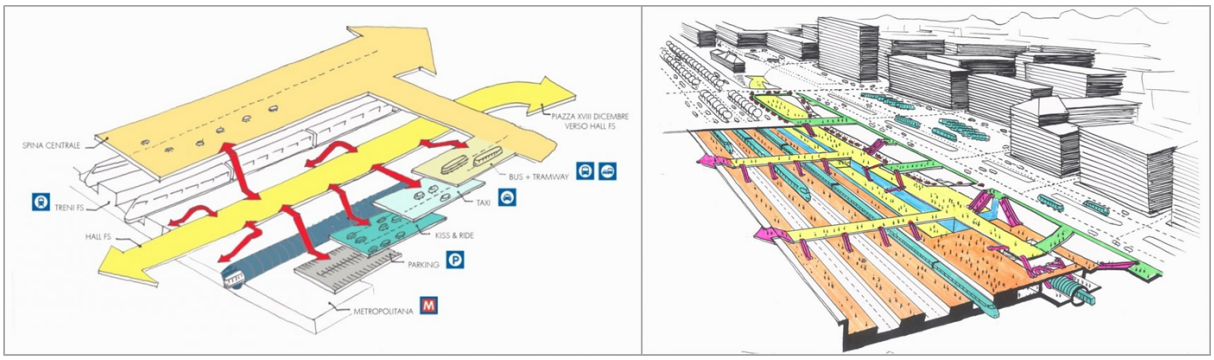
Comme vu dans le chapitre précédent, la coupure s'exprime de différentes façons. Trois grands effets sont répertoriés : les impacts sur les déplacements, la discontinuité morphologique et sociale et enfin l'effet psychologique. De manière plus ou moins ponctuelle et locale, la solution de couverture peut participer à la résorption de la coupure générée par l'infrastructure de transport.

Sur le plan des déplacements, des couvertures peuvent supporter des voies de franchissement ou des espaces d'accueil pour un ou plusieurs types de flux. Le déplacement peut être aussi bien horizontal que vertical. Ainsi, pour réduire la coupure, l'ouvrage doit être muni d'un aménagement particulier qui puisse rendre poreuse la barrière que constitue l'infrastructure. Par ailleurs, pour que ces aménagements soient investis par des utilisateurs, ces franchissements doivent être en cohérence avec les tissus des rives. Par exemple, l'aménagement de la gare de Turin laisse une importance toute

8. « Le concept de renouvellement urbain implique un réinvestissement sur des sites ayant un potentiel économique sous-utilisé, un remodelage des quartiers avec une part de démolition-reconstruction qui complète la réhabilitation de l'habitat existant. Il implique aussi une nouvelle articulation des quartiers avec le reste de la ville (nouveau dessin des voiries, développement des transports en commun). » d'après le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement de Pierre Merlin et Françoise Choay [Merlin and Choay, 2010]

particulière aux traversées, et cheminements transversaux.

La couverture de la gare Porta Susa de Turin constitue un exemple typique de réduction de la coupure. Celle-ci recouvre sur une longueur de 400m le faisceau de voies ferrées qui provoque une coupure Est/Ouest. La gare est conçue sur un principe de porosité. Elle doit permettre les déplacements selon des parcours longitudinaux, verticaux et transversaux. Cette porosité se veut également visuelle. L'architecture de l'ouvrage joue sur la transparence pour permettre de procurer une percée visuelle et une lisibilité des espaces intérieurs et extérieurs à la gare. Cette porosité est affichée comme étant un objectif majeur de la gare. En pratique, celle-ci s'avère moins évidente.



a. *Gare de Torino Porta Susa, projet « accessibilité pour les piétons et les véhicules » - Torino Internazionale*

b. *Gestion des flux de la Gare de Torino Porta Susa, projet « Coudre la ville » - Torino Internazionale*

FIG. 2.11 – *Illustrations du projet de la gare Porta Susa, issues d'un article du site http ://www.popsu.archi.fr/*

A l'inverse, la couverture de Gennevilliers ne s'intègre pas du tout dans la continuité du tissu existant. Sur sa partie nord, elle permet de connecter les réseaux routiers et de tramway d'une rive à l'autre. Cependant, le reste de la structure supporte un parc linéaire qui ne décrit aucune continuité avec le tissu existant. Cet espace public se positionne en bordure d'un premier parc, plus grand et fermé par des barrières. L'espace urbain sur l'autre rive se compose essentiellement d'ilots de logements, dont le tracé des rues ne correspond pas avec les cheminements piétons dessinés sur la couverture. En termes de déplacements et d'usages, la couverture de Gennevilliers ne répond absolument pas à la problématique de coupure urbaine [Chandon and Ducourtieux, 2015b].

D'un point de vue morphologique, psychologique et social, la couverture établit une connexion physique et/ou visuelle d'espaces, de deux rives urbaines par la création d'un sol. Celui-ci s'intègre comme espace constitutif dans la forme urbaine. Elle peut également décrire de nouveaux lieux de rencontre ou pour rejoindre le propos précédent sur les déplacements, accroître l'accessibilité pour une ou plusieurs communautés. Encore une fois, l'ouvrage ne peut être une condition suffisante pour réduire la coupure. Il doit être associé à un contexte local, une programmation, etc.

2.3.3 Relation dessus/dessous

Sur le principe adopté et exposé par Monique Labbé dans ses travaux et dans la définition des objectifs du projet Ville d'idées/Ville 10D, le dessus et le dessous doivent être considérés de front et s'intégrer dans une même réflexion tridimensionnelle [Labbé, 2003]. De fait, il est impératif de travailler en volume et non plus en plan ou en double plans superposés. L'objet couverture n'est pas une séparation imperméable mais bien une interface des différentes entités qu'elle impacte.

Cette relation entre dessus et dessous marque notamment la différence entre couverture et urbanisme de dalle. Les opérations de couverture subissent parfois la comparaison avec l'urbanisme de dalle du fait des similitudes dans le procédé de génie civil et du terme de « dalle » employé pour désigner l'ouvrage. Pourtant ces deux types d'opération diffèrent en de nombreux points. L'urbanisme de dalle avait pour objectif de séparer verticalement les flux et les fonctions urbaines.

Lors de réflexions sur les retours d'expérience de l'urbanisme de dalle, le projet de Paris Rive Gauche (PRG), proposant une couverture du faisceau de voies de la gare d'Austerlitz, semblait poser question et ne semblait pas pouvoir être assimilé à un urbanisme de dalle. Le projet PRG, dès son origine, semblait afficher la nécessité de tisser des liens « horizontaux », et ne pas travailler uniquement en verticalité [Bayle and Warnier, 1993b]. Ce questionnement marque bien le décalage certain qui existe entre ces deux types de d'opération. Par ailleurs, le paragraphe précédent stipulait la volonté d'utiliser la verticalité par la création d'une interface et non d'une séparation. En outre, l'ouvrage de génie civil n'a pas, ici, pour vocation de reléguer le dessous comme espace réprouvé.

Là encore, la gare centrale de Turin est un exemple approprié. La gare est conçue pour être poreuse sur les trois dimensions et tend, de fait, à favoriser le confort des usagers du dessous et les déplacements verticaux (du dessus vers le dessous et inversement).(mettre éventuellement la coupe).

2.3.4 Création d'un sol artificiel : la couverture comme potentiel foncier

Lorsque la couverture est lourde, elle crée un nouveau sol urbain sur lequel une programmation, intégrant ou non du bâti, peut être envisagée. Cette couverture peut notamment viser la création et/ou la valorisation de foncier. Ici, l'exemple de Paris Rive Gauche convient parfaitement pour illustrer ce principe. L'infrastructure devient alors une réserve ou un potentiel foncier et non plus un gros consommateur d'espace.

Outre le fait de créer des emprises foncières extrêmement précieuses en milieu urbain dense, la création de foncier permet d'envisager, de manière plus large, une autre programmation urbaine. De fait, on associe à l'espace urbain créé des usages, un fonctionnement. Sebastiaan de Wilde a orienté son travail de recherche autour du potentiel foncier au-dessus de voies ferrées, et notamment autour de stations et de gares. Il poursuit son questionnement sur l'usage possible de ce nouveau sol. Le croisement des deux permet de pointer le rôle du potentiel foncier sur la mixité fonctionnelle [Wilde, 2006]. Il s'intéresse aux différents concepts existants pour l'optimisation d'usage de l'espace (Fig.2.12). Il souligne un certain nombre de répercussions. « Des bénéfices financiers » directs qui

se traduisent par l'augmentation de la valeur des terres grâce à la création de foncier et indirects par des impacts environnementaux, l'augmentation de l'impôt foncier alentour, ou du chiffre d'affaire des services alentours (ex gare et transports en commun) par exemple. Ces répercussions peuvent également prendre la forme de « bénéfices publics ». Il s'agit d'une amélioration de la qualité de l'espace générée lors de l'optimisation d'usage de l'espace. Il cite, entre autre exemple, la réduction de consommation d'énergie, du besoin de transport, mais aussi l'augmentation de l'accessibilité dans la ville.

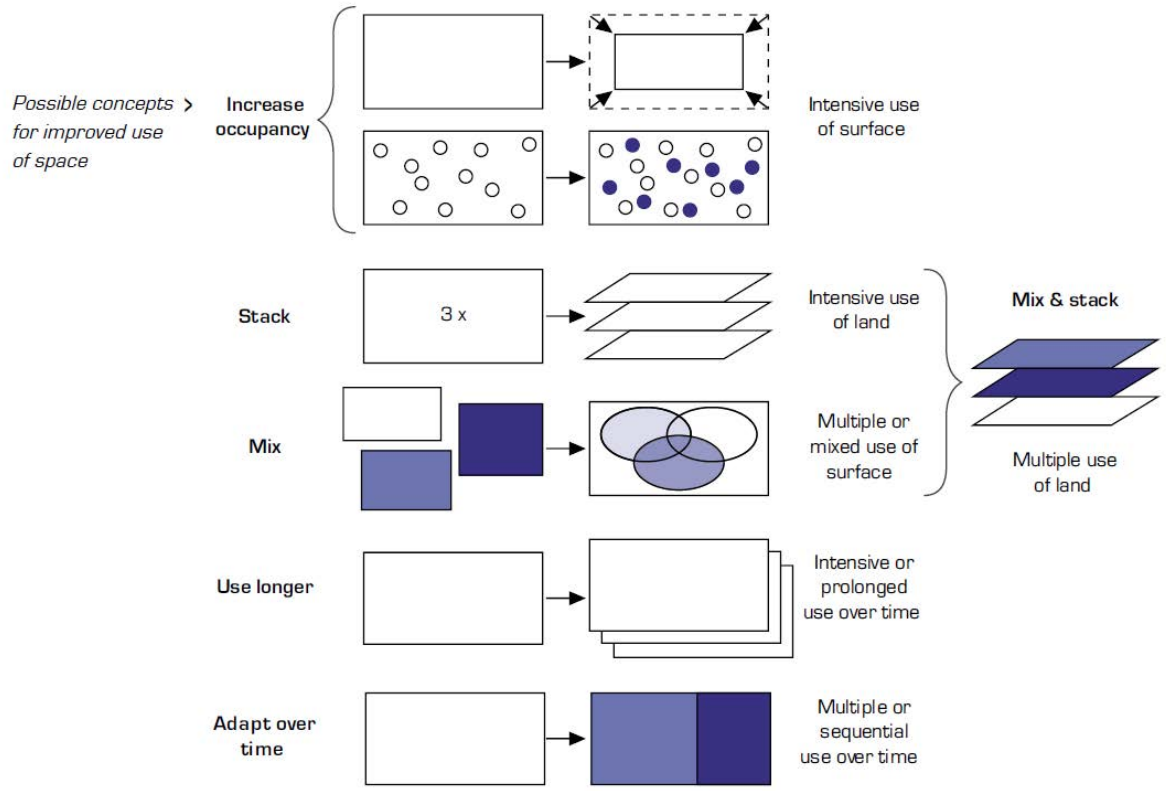


FIG. 2.12 – *Schéma d'utilisation de l'espace de Sebastiaan de Wilde [Wilde, 2006]*

L'APUR, dans son étude sur le devenir du quartier périphérique, compte en 2005 « 348ha de terrain à projets sur la ceinture de Paris, dont 42ha de terrains directement constructibles - 85 pour cent situés dans des opérations en cours ou à l'étude ; 230ha de terrains éventuellement mutables nécessitant des opérations lourdes (...) 70 pour cent situés dans des opérations en cours ou à l'étude ». Ces chiffres interpellent sur la quantité de foncier à valoriser en franges d'infrastructure et potentiellement sur l'infrastructure.

2.4 Retours d'expérience

2.4.1 Un manque de vision globale et complexité des projets de couverture

Les retours d'expériences révèlent un manque certain de considération globale de ce type de projet. Ils se trouvent généralement morcelés par domaine de compétence. « Ceci conduit à les décomposer

en différentes parties (infrastructures, équipements, aménagements de surface, bâtiments) traitées différemment les uns aux autres en appliquant des réglementations plus ou moins cohérentes entre elles » [Laffréchine et al., 2015]. Une des motivations du projet CANOPEE se concentre sur ce fait, les projets de couverture souffrent d'une vision et d'une appréhension déstructurée et disciplinaire du projet. L'hypothèse est émise que la fragmentation disciplinaire des projets urbains et plus particulièrement ici des projets urbains de couverture sont à l'origine de nombreuses incohérences et contradictions entre les tâches des différents projets.

Aucune de ces parties n'est indépendante. Elles présentent même une forte dépendance les unes aux autres. L'exemple le plus évident pour illustrer ce propos est celui des charges supportées par l'ouvrage de génie civil. L'aménagement prévu au-dessus de la couverture est totalement dépendant de ce que la dalle est capable de supporter. Cette dalle peut quant à elle être contrainte par un emplacement de piliers porteurs imposés par la configuration des voies couvertes. Un autre exemple concerne les dispositifs de sécurité incendie. La longueur de la couverture, comme il l'a été présenté plus haut, influe sur la réglementation incendie du fait de l'activité de circulation recouverte. Elle va donc également impacter le nombre d'aménagements à cet effet. Ces aménagements vont interagir avec l'espace au-dessus de la couverture qui devra par ailleurs se conformer au bon fonctionnement de ces installations. L'infrastructure de transport peut également être concernée par des aménagements de type « niche » ou accès pompiers.

Outre la réflexion et la programmation, il est un problème de langage et de communication entre les différents professionnels concernés par le projet.

Cette observation démontre une certaine complexité du sujet. La couverture en tant qu'ouvrage de génie civil peut rencontrer diverses difficultés lors de sa mise en œuvre mais ne présente pour autant pas de réelle complexité. Celle-ci se dévoile lorsque la dimension urbaine est intégrée. Or cette dimension est absolument indissociable de l'ouvrage de couverture. La multiplicité d'acteurs, d'échelles spatiales et temporelles, la diversité de contextes urbains, géographiques et politiques, ainsi que la connexion au milieu urbain, etc. semblent conférer aux projets de couverture une complexité peu considérée jusque là.

2.4.2 Un manque de méthode et d'outils d'évaluation pour les acteurs des projets de couvertures

Il n'existe aujourd'hui aucun moyen d'évaluer ces projets dans leur globalité. Chaque acteur dispose de sa manière d'aborder la partie du projet propre à sa discipline mais ne fait que très peu cas des interfaces avec les autres professionnels concernés. Ce manque de méthode et d'outil fait aujourd'hui défaut. Les retours d'expériences sur différents projets permettent d'entrevoir au cas par cas les opérations qui s'intègrent ou non à l'espace urbain et qui répondent de manière plus ou moins efficace à des problèmes revendiqués comme le bruit ou encore les difficultés de mobilité liées à la coupure urbaine. Cependant, ces appréciations ne reposent sur aucun jeu de critères précis ou aucun paramètre permettant d'aboutir à une évaluation objective et globale de ces projets particuliers. Il

s'agit plus de ressentis ou d'estimations d'usagers ou d'élus.

L'objectif de ce travail de thèse consiste à construire une méthode permettant d'évaluer ces projets de couvertures tout en intégrant ses caractéristiques complexes, mutli-échelles et multi-dimensions. Cette méthode doit avoir une portée transversale et globale.

En conclusion ...

Les couvertures sont des ouvrages de génie civil dont l'objectif est de recouvrir localement des voies d'infrastructures de transport routières ou ferroviaires en milieu urbain. Leurs structures peuvent être lourdes, légères ou s'apparenter à des immeubles ponts. Ces objets techniques, connus et maitrisés par les professionnels du domaine peuvent cependant révéler de véritables défis techniques au regard du contexte urbain, géographique ou encore technique dans lequel ils s'intègrent.

Ces couvertures ne sont pas seulement des ouvrages de génie civil, elles prennent part à des projets urbains. Ces opérations s'inscrivent dans une logique de renouvellement urbain, en recréant un sol (dans le cas de couvertures lourdes) et une continuité entre les deux rives de l'infrastructure. Les projets de couverture se positionnent comme des réponses potentielles en termes de traitement de la coupure urbaine et de stratégie foncière en permettant le réinvestissement d'un espace exclusivement dédié à la circulation.

Les retours d'expériences recueillis permettent de pointer un manque de vision globale, de méthodes et d'outils permettant l'évaluation de ces projets par les acteurs concernés. Ce constat, couplé à la multiplicité des acteurs concernés (et donc la multiplicité de compétences sollicitées), le caractère mutli-échelles et dynamique du contexte urbain, ou encore le caractère tri-dimensionnel de ce type de projet, suggèrent une évidente complexité.

CHAPITRE 3

Définition d'un système couverture

Les couvertures d'infrastructures de transport routières et ferroviaires sont des ouvrages de génie civil au sein de projets urbains. Elles s'inscrivent au delà de la portée structurelle de l'objet et adoptent une véritable dimension urbaine. Ces projets de couvertures s'inscrivent dans les réflexions de renouvellement urbain, autrement dit, dans une optique de composer avec les ressources inexploitées de la ville dans une perspective de couture urbaine (en plan et en volume) et de stratégie foncière. Les retours d'expériences sur ces couverture révèlent un manque certain de vision globale et de méthodes permettant l'évaluation de ces objets et projets de couvertures.

Dans l'optique de proposer des éléments de réponse à ce constat, il est proposé, dans ce chapitre, de se référer au champ de la systémique de manière à appréhender la complexité inhérente à l'intégration de la couverture au sein d'un milieu urbain dense. Cette approche porte sur la mise en compréhension de problèmes, d'objets ou de situations avérés complexes. Elle vise notamment à utiliser la modélisation comme moyen de représenter cette complexité qui ne peut être réduite ou simplifiée sans être dégradée.

L'usage de la systémique implique nécessairement la définition d'un système. En l'occurrence ici, il s'agit d'aboutir à la définition d'un système urbain de couverture. Dans un premier temps, la définition structurale de ce système consiste à déterminer la composition de celui-ci et éventuellement l'organisation spatiale qu'il décrit. Il est important, à ce stade, de procéder à des choix de modélisation. La couverture est pressentie comme un traitement possible des grandes infrastructures de transport au sein des espaces urbains. Elle s'apparente de fait à un élément modificateur du système. Ce dernier se définit comme une combinaison d'espaces et de populations qui y exercent une ou plusieurs activités.

3.1 La couverture d'infrastructures de transports en milieu urbain : un objet technique compliqué dans un environnement urbain complexe

La couverture, s'apparente à un ouvrage de génie civil, en projet ou en exploitation. Elle se matérialise par une structure lourde ou légère, recouvrant localement, de manière complète ou partielle, des voies d'infrastructures de transports terrestres au sein d'un milieu urbain dense. Ainsi définie, la couverture ne constitue pas a priori un élément complexe en soit. Et bien que certaines mises en œuvre de ces ouvrages se confrontent à de réels défis techniques, ces objets particuliers sont connus et maitrisés par l'ensemble des professionnels en charge de leur conception.

La couverture s'insère dans un contexte urbain particulier ; à savoir, un espace urbain traversé par une grande infrastructure de transport terrestre. Cet objet technique ne peut pas être considéré indépendamment de cet environnement. La couverture n'est donc pas un ouvrage isolé, mais bien une pièce du rouage d'un environnement urbain complexe.

La complexité mentionnée fait référence aux travaux de Jean Louis Le Moigne [Le Moigne, 1969] et Joël de Rosnay [De Rosnay, 1975] et se définit comme un état hautement organisé et extrêmement varié en termes de structure. Elle suggère de nombreuses relations (souvent non linéaires), interrelations, et rétroactions dans le système qu'elle qualifie. La complexité se caractérise par une grande diversité structurelle et morphologique, sans oublier la composante sociale [Allain, 2004].

Cette complexité doit impérativement être intégrée dans la réflexion et dans la manière d'aborder ces projets de couvertures. Ils sont actuellement considérés, ou en tout cas abordés, comme une somme d'entités plutôt déconnectées les unes des autres et distribuées aux corps de métiers compétents. Ce procédé s'appuie sur le principe de simplification du problème qui ne permet pas d'y porter une vision globale. C'est là que se distinguent la complication et la complexité (correspondant en réalité au problème). La complexité diffère de la complication dans le sens où un système ou un problème complexe ne peut pas être simplifiable sans être dégradé. Il peut en revanche être rendu intelligible [Durand, 1979], [Le Moigne, 1969], [Allaire, 2012].

Pour être considéré, accepté et traité, la complexité nécessite d'être appréhendée par le biais de la systémique. En s'appuyant sur l'ouvrage de Daniel Durand, Didier Allaire insiste, dans ses travaux de recherche, sur le fait que « ce qui est trop complexe pour être abordé de façon réductionniste [1] doit recourir à la systémique » [Allaire, 2012]. Dans cette optique, et au vue de la complexité inhérente à l'intégration d'un ouvrage de couverture au sein d'un environnement urbain, je propose de conduire l'élaboration d'un modèle systémique urbain de couverture.

1. Didier Allaire évoque ce terme en référence au précepte de Descartes (dans le Discours de la Méthode) propre à l'approche analytique, et qui consiste en « l'analyse exhaustive des propriétés évidentes de chaque partie d'un système » [Allaire, 2012].

3.2 L'approche systémique pour la construction d'un modèle global urbain de couverture

L'absence de vision globale et de méthode pour évaluer les couvertures au sein du tissu urbain dans lequel elles s'intègrent, conduit à proposer dans un premier temps, la construction d'un modèle urbain de couverture. Du fait de la complexité inhérente à l'intégration de la couverture au sein de son environnement le choix méthodologique pour l'élaboration de ce modèle se tourne assez logiquement vers le champ de la systémique.

3.2.1 L'approche systémique pour répondre à la complexité

3.2.1.1 Retour sur les origines de la systémique

La pensée systémique tire son origine de la « prise de conscience » de la complexité de certains problèmes et des limites des approches « classiques » pour les aborder et les résoudre [Cambien, 2007]. Les premières remises en question de ces approches ont émergé des réflexions de Léonard de Vinci, pour ne citer que lui. Il entrevoit les limites d'application à des problèmes relevant d'une subjectivité importante et pourtant indispensable. D'autres penseurs tels que Paul Valéry, Gaston Bachelard où encore Jean Piaget font avancer la critique du modèle analytique (issu du paradigme positiviste), ainsi que la réflexion autour de la complexité [Cambien, 2007]. Mais le paradigme systémique voit véritablement le jour à la rencontre de deux théories scientifiques : la cybernétique de Wiener, et la théorie des systèmes ouverts de Von Bertalanffy [Le Moigne, 1969], [Durand, 1979]. En découle alors la systémique dite de première génération [Cambien, 2007], [Donnadieu et al., 2003]. Elle établit les préceptes fondamentaux de l'approche systémique et de la théorie des systèmes. Celles-ci vont être appliquées, appropriées puis affinées pour évoluer vers la systémique de deuxième génération dont Jean-Louis Le Moigne est un des principaux représentants. Depuis ses travaux, la systémique a fait l'objet d'applications, voir d'adaptations dans de nombreux domaines et donne aujourd'hui lieu à une systémique plus opérationnelle.

L'approche systémique s'apparente à un changement, une évolution de précepte visant plus à l'intelligibilité qu'à l'analyse [Le Moigne, 1969], [Béraud, 2013]. Plusieurs études mettent en comparaison l'approche systémique et l'approche analytique. Il apparait que les deux paradigmes ne sont pas en concurrence pour la résolution de mêmes problèmes. Ils ont des portées et objectifs bien distincts, les rendant plus complémentaires qu'opposés. Hélène Béraud s'inspire des travaux menés par Jean louis Le Moigne pour construire un tableau récapitulatif illustrant le changement de précepte et de vocable entre analytique et systémique (Tab.3.1) [Béraud, 2013].

Ce tableau décrit quatre grandes différences illustrées par le passage de l'évidence à la pertinence, du réductionnisme au globalisme, du précepte causaliste au précepte téléologique et enfin de l'exhaustivité à l'agrégativité. On comprend bien ici que l'un ne se substitue pas à l'autre puisque les sujets traités sont différents. Si l'approche analytique permet d'aborder et de résoudre un problème simple ou compliqué de manière très efficace, la systémique est dédiée essentiellement à la complexité.

TAB. 3.1 – *Comparaison entre analytique et systémique [Béraud, 2013] inspiré des travaux de Le Moigne*

Préceptes de l'approche analytique	Causes du changement de précepte	Préceptes de l'approche systémique
EVIDENCE		**PERTINENCE**
Pour être considéré, tout doit être démontré	La recherche de l'évidence n'est pas toujours possible	*Pour être considérés, les objets doivent s'avérer pertinents aux vues des intentions implicites et explicites du modélisateur*
REDUCTIONNISME	Difficulté de l'exercice. Ne paraît pas dans tous les cas pertinent car ne permet pas toujours l'intelligence complète de l'objet	**GLOBALITE**
Décomposition de l'objet à étudier en autant d'éléments que possible		*Perception de l'objet inséré dans un plus grand tout. Implique l'ouverture*
CAUSALITE		**TELEOLOGIQUE**
Compréhension d'un objet et de son fonctionnement régie par des lois de causes à effets	Ne nous informe en rien sur la finalité de l'objet	*Compréhension de l'objet et de son fonctionnement à travers son comportement par rapport aux projets que l'on attribue à l'objet*
EXHAUSTIVITE		**AGREGATIVITE**
Dénombrement complet des objets à étudier de manière à ne rien omettre	Difficulté de l'exercice. L'exhaustivité est rarement possible	*Sélection des éléments pertinents pour l'étude sans assurer la totalité de l'interprétation.*

3.2.1.2 Les principes fondamentaux de la systémique

La systémique se définit comme étant un paradigme scientifique proposant un cadre méthodologique adapté à l'étude et à l'intelligibilité des systèmes complexes. Elle se caractérise selon les quatre préceptes : « pertinence », « globalité », « téléologie » et « agrégation ». Ces principes permettent de mieux cerner l'essence de l'approche et de comprendre les fondements du raisonnement, mais n'aboutissent pas à l'énoncé d'une réelle définition. Ainsi, quatre grands concepts émergent alors et viennent les compléter (Fig.3.1) [Donnadieu et al., 2003] :

- Le premier concept est le système. Il constitue en quelque sorte le fondement de l'approche. En effet, le système est l'objet d'étude de la systémique. Il se caractérise par une structure et une organisation complexes décrivant un comportement global en vue d'atteindre un objectif. Autrement dit, il ne se définit pas par la somme de ses composants mais bien par le résultat de la combinaison structurelle et fonctionnelle de ses composant dans un contexte particulier. Le système doit ainsi être très clairement défini, aussi bien dans sa forme structurale que dans sa dimension fonctionnelle [De Rosnay, 1975].

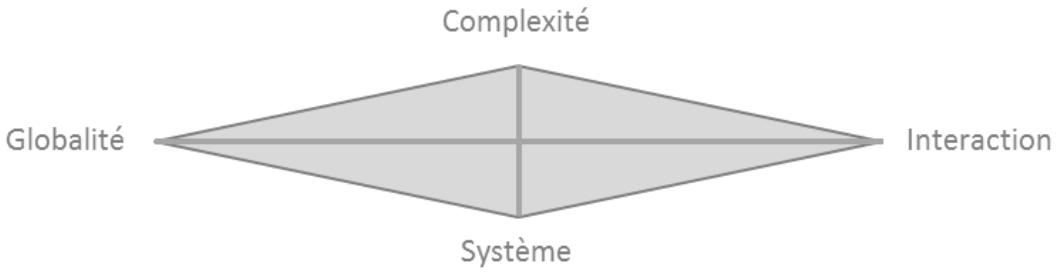


FIG. 3.1 – *Les quatre grands concepts de base de la systémique [Donnadieu et al., 2003]*

– Le concept de complexité est central dans la démarche puisqu'il justifie l'application même de la systémique. L'approche présente l'intérêt d'accepter la complexité et d'en saisir le mécanisme. La résolution d'un problème avéré complexe passe donc dans un premier temps, par la compréhension de celui-ci. Or, la systémique peut être considérée comme une méthode pour comprendre. Son objectif est de rendre intelligible un problème.

– La globalité découle naturellement du concept de complexité. Elle est à la fois concept et précepte de la méthode. L'acceptation de la complexité implique de ne pas infliger de simplification au problème ou au système et de ce fait, de ne pas le réduire en éléments indépendants. Le système doit à ce titre, être considéré comme un tout [Béraud, 2013]. Il décrit un comportement global « surpassant la capacité propre de chacun de ses éléments » [Narbonne, 2005]. Daniel Krob considère cette vision globale comme primordiale dans la pensée systémique [Krob, 2010].
  Ce concept de globalité fait écho à un sous concept, également fortement présent dans l'approche systémique : la transversalité. L'approche analytique, actuellement employée dans le cadre des couvertures d'infrastructures urbaines, privilégie la pluridisciplinarité. Elle intègre l'ensemble des disciplines inhérentes à la ville et les affiche distinctement. Cette pratique semble commode et confortable puisque les équipes, dans le cadre de projets urbains, sont généralement pluridisciplinaires et chaque acteur peut prétendre à une compétence dans l'une des disciplines. Chaque élément d'un problème ou objet donné peut alors être traité dans sa discipline de référence. La pluridisciplinarité privilégie ainsi la division et la réduction d'un problème à la discipline concernée et n'entre donc pas dans une logique de transversalité et de globalité. A l'opposé de l'approche analytique, la systémique opte pour la transdisciplinarité [Narbonne, 2005].

– Le concept d'interaction répond aux concepts précédents de complexité et de globalité. Les interactions décrites par l'objet étudié lui confèrent un niveau d'organisation plus important et participe à sa complexité. Selon Yves Narbonne, cette dernière passe notamment par « un réseau dense d'interactions » [Narbonne, 2005]. A ce titre, la systémique porte une attention toute particulière au jeu d'interactions. Par ailleurs, la prise en compte des relations entre les différents constituants d'un système est primordiale pour l'approche systémique et l'indivisibilité du système. C'est généralement ce jeu d'interactions ou de processus qui définit le système.

3.2.1.3 Vers un modèle global de couverture

Le manque de vision globale et transversale a été pointé grâce à l'analyse de retours d'expériences des projets de couverture. Ces opérations souffrent aujourd'hui d'un fractionnement disciplinaire imperméable qui ajoute de multiples contraintes aux projets et aboutissent parfois à des incohérences ou des aberrations urbaines. L'objectif de ce travail réside dans la construction d'un modèle permettant l'évaluation globale d'une couverture en intégrant toute la complexité due à son insertion au milieu urbain. Cela requiert de se tourner vers des méthodologies adaptées.

L'approche Génie Urbain porte son intérêt sur des thématiques transversales et notamment sur le croisement de la dimension technique à la portée sociale de la ville. Cet axe transdisciplinaire s'attache à la résolution de problématiques urbaines complexes nécessitant l'adoption d'une vision globale. Ainsi, les travaux de recherche, confrontés à cette complexité optent pour l'application de la systémique et de la théorie des systèmes [Allaire, 2012], [Béraud, 2013]. L'élaboration de notre modèle, pour l'évaluation des couvertures d'infrastructures de transports routières et ferroviaires en milieu urbain, s'appuiera sur ce principe. Il s'agit donc d'explorer un des champs méthodologiques qu'offre la systémique afin de comprendre la place que la couverture peut tenir au sein d'un système fonctionnant, d'en saisir la complexité et de produire un support exploitable pour l'évaluation globale de ce système.

3.2.2 Définir et modéliser le système couverture

3.2.2.1 La modélisation systémique

La modélisation [2] est considérée ici, au sens de Le Moigne, comme une représentation intelligible d'une réalité complexe [Le Moigne, 1999]. Elle permet la traduction d'un fait, d'un processus qui ne peut être observé ou compris par simplification. Jean Louis Le Moigne précise à ce sujet que « L'intelligibilité du compliqué se fait par simplification. L'intelligibilité du complexe se fait par modélisation. » [Le Moigne, 1999]. La modélisation peut être assimilée au moyen d'expression de la systémique.

Cette manière de procéder introduit forcément une part de subjectivité. En effet, le modèle étant une interprétation, il se présente à travers le regard et la compréhension de celui qui le construit. Cette subjectivité peut avoir pour effet l'introduction d'un biais pour la compréhension ou l'exploitation du modèle obtenu. A ce titre, il convient d'être vigilant sur ce point.

Joël de Rosnay et Jean-Louis Le Moigne ont proposé des « outils » d'observation des systèmes. De Rosnay construit son macroscope sur le principe des outils ou instruments permettant l'observation

2. Un amalgame entre modélisation et modélisation informatique est souvent fait. Toute modélisation ne se traduit pas par la compilation d'un algorithme dans un programme. La modélisation est entendue ici comme un moyen de représentation d'une réalité. Rappelons par ailleurs, que le langage (la langue française) est par exemple un moyen de modéliser, de retranscrire une réalité.

de l'infiniment petit (microscope), grand (téléscope), etc. Le macrospcope a donc pour objectif d'ouvrir à l'observation l'infiniment complexe [De Rosnay, 1975]. Ces « univers » ne sont pas perceptibles à l'œil nu ou à la compréhension immédiate. Cela nécessite de créer des instruments d'observation adaptés. Le macroscope traduit alors la réalité du système en un schéma conceptuel. Jean-Louis Le Moigne prend quant à lui l'inspiration auprès de la photographie. Il construit alors le systémographe : il procède par des étapes successives de « cadrage », de « développement » et d' « interprétation » afin d'aboutir à un « cliché » (modélisation) d'une réalité (Fig.3.2).

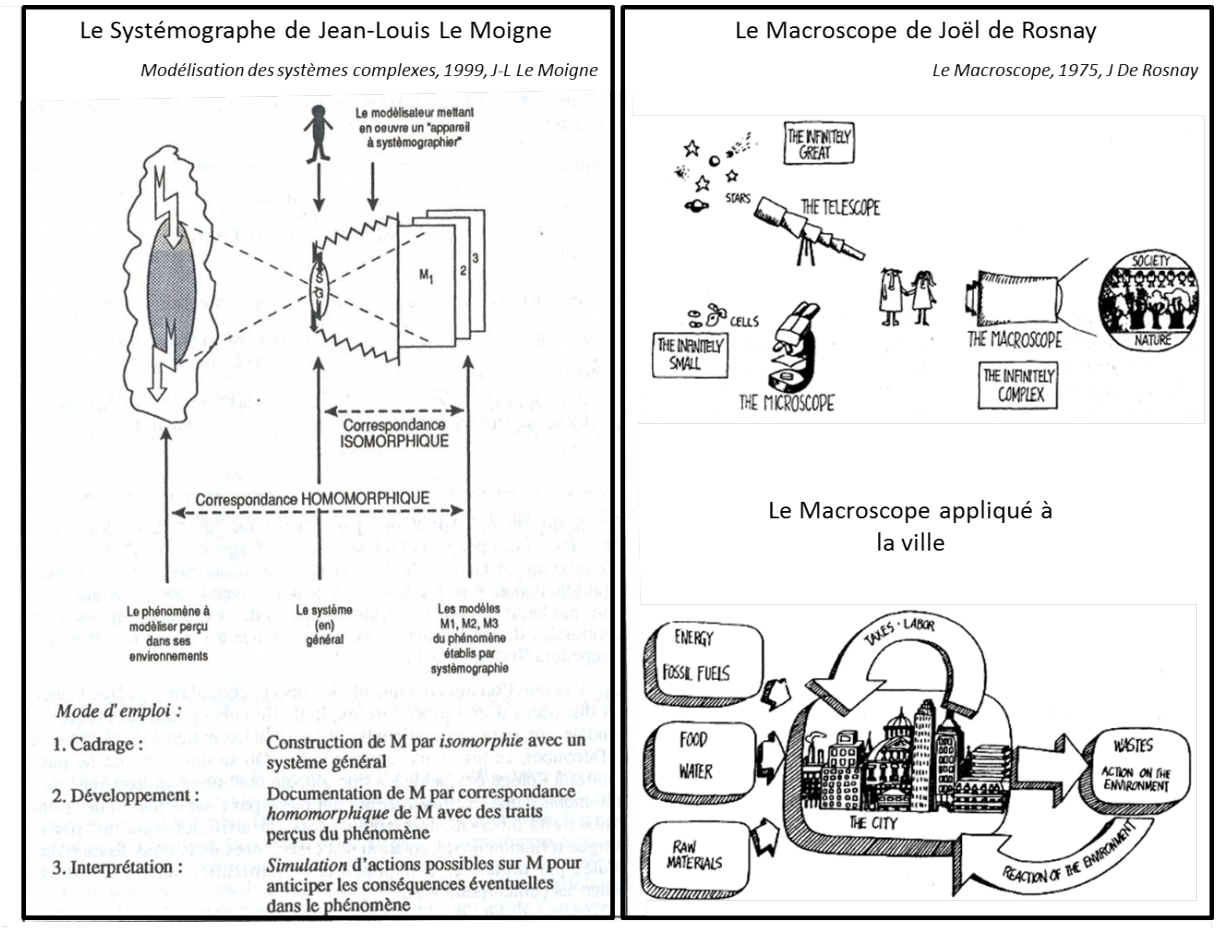


FIG. 3.2 – *Outils d'observation et de modélisations du complexe de Jean-Louis Le Moigne et Joël de Rosnay*

Ces deux « instruments » permettent de comprendre la manière dont doit être appréhendé un système. Les outils et moyens de modélisation sont infinis et peuvent prendre des formes très différentes. Ces derniers ne visent pas à proposer une description exhaustive d'un système identifié mais bien de mettre en lumière et en compréhension un phénomène ou un processus particulier animant globalement ce système. Ils nécessitent donc de choisir des entrées particulières pour modéliser. Dans sa comparaison entre analytique et systémique, Daniel Krob précise qu'alors que la pensée analytique recherche de l'exhaustivité, alors que la systémique utilise des points d'entrées pertinents [Krob, 2010].

3.2.2.2 Définition d'un système urbain de couverture

Alors que plusieurs définitions émergent des réflexions, aucune ne parait réellement convenir pour définir de manière universelle ce qu'est un système [De Rosnay, 1975]. Joël de Rosnay déplore les essais de définition de système qui semblent être soient trop générales, soit trop restrictives et spécifiques à un type de systèmes donné. Il est donc apparu difficile, voire impossible, de contenir la notion de système dans une définition stricte, mais ces réflexions ont conduit à la détermination de principes permettant de caractériser les systèmes.

L'auteur du Macroscope ajoute qu'à cette liste de principes, « Deux groupes de traits caractéristiques permettent de décrire de manière très générale les systèmes que l'on observe dans la nature. Le premier groupe se rapporte à leur aspect structural, le second à leur aspect fonctionnel. ». Ainsi, en se basant sur ce propos, la description du système urbain de couverture fera l'objet d'une description structurale puis d'une description fonctionnelle.

Joël de Rosnay définit l'aspect structural d'un système comme « l'organisation dans l'espace des composants ou éléments d'un système ; de leur organisation spatiale ». Daniel Krob parle quant à lui d' « architecture invariante » du système [Krob, 2010].

La description du système intègre également une dimension fonctionnelle. Autrement dit, elle s'intéresse à l'organisation et aux interactions entre les différents composants identifiés. Pour De Rosnay, « il s'agit de processus, c'est à dire des phénomènes dépendant du temps (échange, transfert, flux, croissance, évolution, etc.) c'est l'évolution temporelle. » [De Rosnay, 1975]. Cette définition est complétée par Donnadieu, pour qui l'aspect fonctionnel correspond au but, à la finalité fonctionnelle animant système [Donnadieu et al., 2003].

La description fonctionnelle du système urbain de couverture se fait en deux temps. Elle doit tout d'abord saisir le rôle de la couverture au sein du tissu urbain. Cet objectif est ce qui va justifier l'existence du système et guider l'ensemble de son fonctionnement. Il s'agit d'une étape cruciale qui doit être menée avec rigueur. La description fonctionnelle du système prévoit également de déterminer l'ensemble des mécanismes mis en œuvre entre des différents éléments structuraux pour aboutir à l'objectif.

3.3 Définition structurale du système urbain de couverture

La définition du système urbain de couverture doit débuter par la description structurale de celui-ci. Elle consiste à déterminer l'architecture et l'organisation spatiale des éléments qui le composent. Il s'agit donc de définir les limites du système à étudier.

3.3.1 Périmètre du système

Dans un premier temps, il faut cibler le périmètre du système. La couverture, dans sa définition génie civil décrit un périmètre structurel s'appuyant sur les limites de l'ouvrage. La dalle, l'immeuble-

pont, ou encore la structure légère vont ainsi définir les contours de ce premier périmètre. Il ne peut cependant pas suffire à délimiter le système complexe. Puisque l'ouvrage de génie civil ne peut être considéré de manière isolée, un second périmètre doit être défini. Il doit permettre d'intégrer l'environnement dans lequel s'insère la couverture. Ce périmètre peut être assimilé aux contours du projet urbain ou de l'opération d'aménagement incluant la couverture dans sa programmation.

Le périmètre structurel correspond à l'ouvrage couverture (en rouge sur la figure) comme la délimitation nécessaire à l'existence du système (puisqu'un système urbain de couverture ne peut exister sans la présence de la couverture elle-même) (Fig.3.3). Ses limites spatiales sont clairement et unanimement définies du fait de sa nature. Par ailleurs, ses pourtours sont pérennes dans le temps. En effet, il paraît logique que la structure de génie civil n'ait aucune évolution autonome dans sa phase d'exploitation. La couverture, délimitée par ce premier périmètre structurel s'apparente au noyau dur d'un système plus large. Le périmètre « projet » (en bleu sur la figure) quant à lui, constituera le périmètre du système urbain de couverture (Fig. 3.3). Sur le cas de la Porte de Lilas, le périmètre projet s'appuie sur les contours de la ZAC. Celui-ci présente pour sa part de limites spatiales imprécises et avec un fort caractère évolutif. De surcroît, ces contours peuvent être arbitraires, dans le sens où chaque acteur peut avoir sa propre « version » du périmètre de projet.

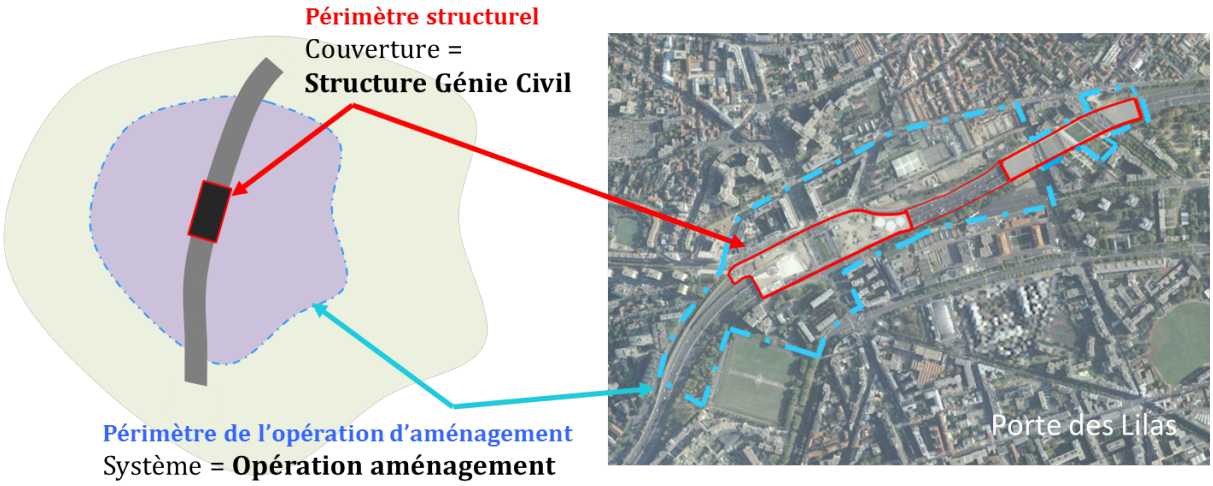


FIG. 3.3 – *Périmètres de couverture et système de couverture*

3.3.2 Composition structurale du système : une architecture territorialisée

3.3.2.1 Un territoire comme ancrage du système

Ce périmètre délimite le territoire sur lequel le système existe. La notion de territoire fait ici référence à la définition proposée par Alexandre Moine [3]. Il lui attribue trois composantes principales. Le système territorial présente tout d'abord une composante géographique et spatiale. Elle est définie par Moine comme l'espace « approprié par l'homme, aménagé et au sein duquel apparaissent des organisations spatiales et de multiples interactions fondées sur les interrelations entre les sous-

3. La notion de territoire fait l'objet d'un débat sémantique assez riche au sein de la recherche géographique et urbaine. Nous ne rentrerons pas dans ce débat dans le cadre de ce mémoire de thèse.

systèmes qui le composent » [Moine, 2006]. Une seconde composante correspond aux systèmes de représentation, qui s'apparentent selon l'auteur à un « ensemble de filtres (individuel, idéologique, sociétal) qui influencent les acteurs dans leurs prises de décisions et les individus dans l'ensemble de leurs choix ». Enfin, le territoire dispose d'une composante relative aux acteurs décisionnels [4].

Alexandre Moine définit ainsi le territoire comme un système, qui s'articule autour de ces trois dimensions (Fig.3.4)[Moine, 2005].

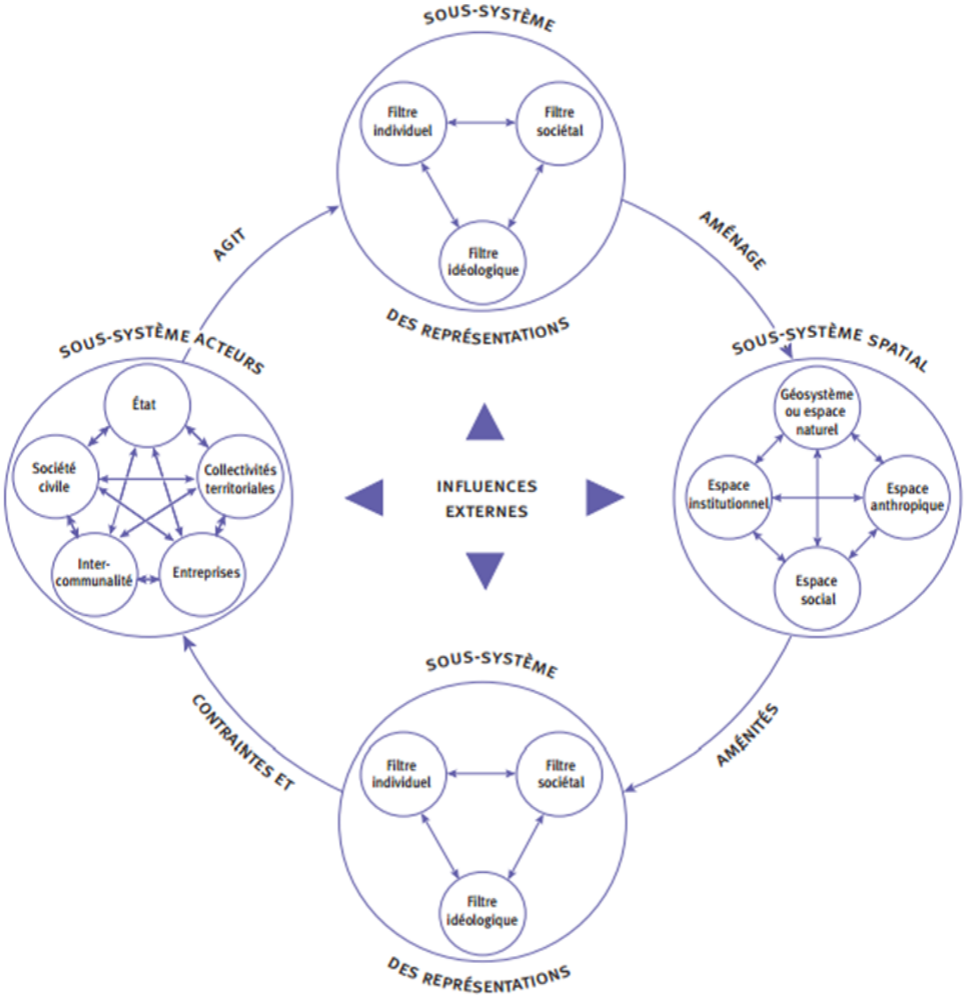


FIG. 3.4 – *Le système territorial par Alexandre Moine*

Pour comprendre le fonctionnement de ce système, il faut distinguer le sous-système des représentations (affiché deux fois dans cette illustration) des deux autres. Comme évoqué ci-dessus, le sous-système des représentations s'apparente à un groupement de filtres interdépendants par lesquels le système décisionnel perçoit le système spatial puis grâce auquel il réagit puis opère sur l'espace par le biais d'aménagements. Les sous-systèmes d'acteurs et spatial peuvent être qualifiés de sous-systèmes actifs : ils alimentent successivement les différents filtres représentatifs, en perçoivent et extraient de l'information, l'utilisent et réalimentent le processus. Le système territorial est donc,

4. Dans le cadre du projet CANOPEE, Joël Idt de l'équipe de recherche Génie Urbain à l'université de Paris Est Marne la Vallée travaille avec Stéphanie Leheis sur cette entrée : le sous-système des acteurs dans le cadre des projet de couverture.

d'après la définition de Moine, dynamique, interactif, organisé et animé par une boucle de rétroaction.

La référence au territoire est absolument primordiale afin de comprendre le cadre systémique dans lequel s'inscrit et agit le « système urbain de couverture » mais aussi et surtout pour ancrer la réflexion dans une réalité territoriale indispensable et incontournable dans l'appréhension de l'urbain. Cette considération permet de ne pas évincer des composantes essentielles telles que les jeux d'acteurs pour ne prendre qu'un exemple.

Notre système urbain de couverture constituerait un sous-système spatial du système territorial d'Alexandre Moine. Il convient donc de s'interroger sur la composition structurale de cet élément, d'en comprendre l'architecture et l'organisation.

3.3.2.2 Espace urbain et populations

La couverture est pressentie comme un élément structurel modificateur d'un système urbain. En se référant à la modélisation proposée par Alexandre Moine, le système urbain de couverture s'apparente à un sous-système spatial d'un méta-système territorial. J'ai choisi ici de regrouper « Espace anthropique », « Espace naturel », et « Espace institutionnel » définis par l'auteur dans un Espace urbain, interagissant avec l'« Espace social », autrement dit avec des populations. Ce système devient alors le résultat de la combinaison d'un espace urbain et de populations. Jacques Lécureuil considère, dans son ouvrage sur la programmation urbaine, le « lieu urbain » ou espace urbain comme un « contenant » de l'activité exercée par les riverains, ou populations utilisatrices de ce lieu [Lecureuil, 2001].

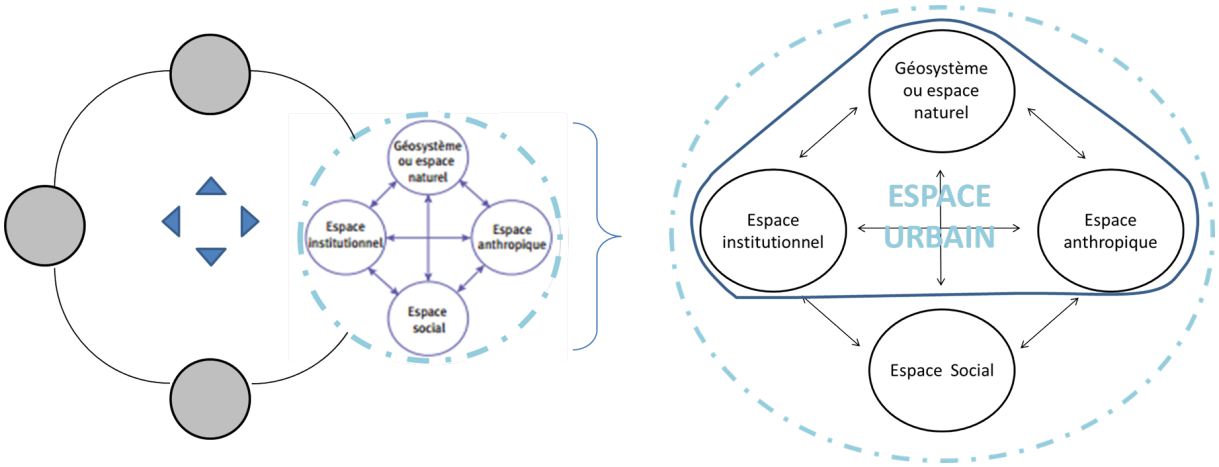


FIG. 3.5 – *Focalisation sur le système territorial Moine et choix d'une architecture : Espace Urbain + Espace social*

Le système couverture peut se définir par une composante spatiale matérialisée par l'espace urbain et des populations exerçant une ou plusieurs activités sur cet espace [Moine, 2006]. Il semble pertinent d'adopter ce principe de structuration. L'espace urbain s'apparente de fait à un support physique utilisable par des individus.

Ainsi, de manière très générale, le système couverture se compose d'un espace urbain et de populations associées. L'activité, quant à elle, n'est pas considérée ici comme une composante structurelle.

Elle est l'objet de la relation entre populations et espace urbain. Cette description mérite d'être précisée. Pour cela, une spécification de l'espace et des populations basée sur l'usage et l'activité urbaine est proposée.

3.3.3 Spécification de l'espace urbain

3.3.3.1 Spécification par typologie d'usage / d'activité des populations

En 1933, Le Corbusier propose dans la Charte d'Athènes un moyen de décomposer l'espace urbain en fonction des usages et activités des populations. Il décrète alors que « les clés de l'urbanisme sont dans les quatre fonctions : « habiter, travailler, se récréer et circuler » [Le Corbusier, 1933]. Chacune de ces « fonctions urbaines » doit être autonome et attribuée à un territoire. De cette manière, Le Corbusier, ordonne et partitionne l'espace et les pratiques urbaines et en fait ses « entrées pour penser l'urbanisme et la programmation urbaine ».

On retrouve encore aujourd'hui des traces de ce moyen de décomposer l'espace urbain dans des études ou documents urbanistiques. La méthode diffère cependant en quelques points. Elle ne correspond plus à une partition géographique franche de l'espace mais plutôt à une distinction dans les usages des populations utilisatrices d'un espace considéré. Dans les études d'impacts par exemple, cette décomposition est généralement employée dans le cadre de diagnostics des besoins locaux en termes de logements, d'équipements ou d'emplois notamment. Une telle étude peut également permettre de cibler des pôles où l'une des fonctions urbaines est fortement concentrée par exemple. Une autre différence majeure par rapport à l'approche de Le Corbusier concerne la mise en relation de ces différentes fonctions urbaines. Elle apparait de manière implicite avec des études qui mettent en parallèle logements et emplois principalement. D'autres relations s'établissent sur ce même modèle.

L'agence de conception et programmation urbaine Alphaville[5], utilise cette approche quadriptyque pour appréhender les territoires. Elle adopte cependant la démarche à travers une vision et une approche systémique [Yvin, 2015]. A ce titre, elle s'attache d'autant plus à la mise en relation de chacune des quatre fonctions urbaines. Ces dernières sont assignées à des « domaines fonctionnels ». Le principe consiste à identifier pour chacun des quatre domaines :

- les croisements des données, autrement dit des éléments de diagnostic territorial concernant et faisant intervenir deux ou trois domaines.
- L'anticipation des effets de chaine, à savoir les impacts d'un domaine sur un autre.
- Enfin, la spatialisation des données, permettant de resituer l'ancrage territorial de ces données et impacts.

L'étude de ces trois points permet de comprendre comment les domaines fonctionnels définis par Alphaville s'articulent entre eux. Bruno Yvin propose une représentation de cette vision, en question-

5. Dans le cadre du projet ANR CANOPEE, un travail a été mené avec l'agence de programmation urbaine Alphaville. Nous avons pu notamment échanger sur leur vision opérationnelle de la systémique. Ils nous ont par ailleurs apporté leur avis sur la méthode entreprise et nous ont apporté des cas d'étude à exploiter.

nant chacun des domaines sur les trois entrées évoquées ci-dessus.

Un premier questionnement porte sur la combinaison de ces domaines fonctionnels excluant dans un premier temps la mobilité (Fig.3.6). La figure suivante illustre ainsi la mise en relation de l'habitat, de l'économie et de l'équipement. Pour chaque domaine, et chaque croisement de domaines, le schéma appose les éléments de diagnostic et les influences d'un domaine sur l'autre [Yvin, 2015]. Un second graphique, est construit sur le même modèle que le précédent, mais incluant cette fois mobilité et territoire (Fig.3.7). Ici, les domaines de l'habitat, de l'économie et de l'équipement apparaissent déconnectés, de manière à lire plus clairement les interactions avec le domaine mobilité/territoire. Ce choix de représentation exprime bien la différence de niveau entre ce dernier et les trois autres [Yvin, 2015].

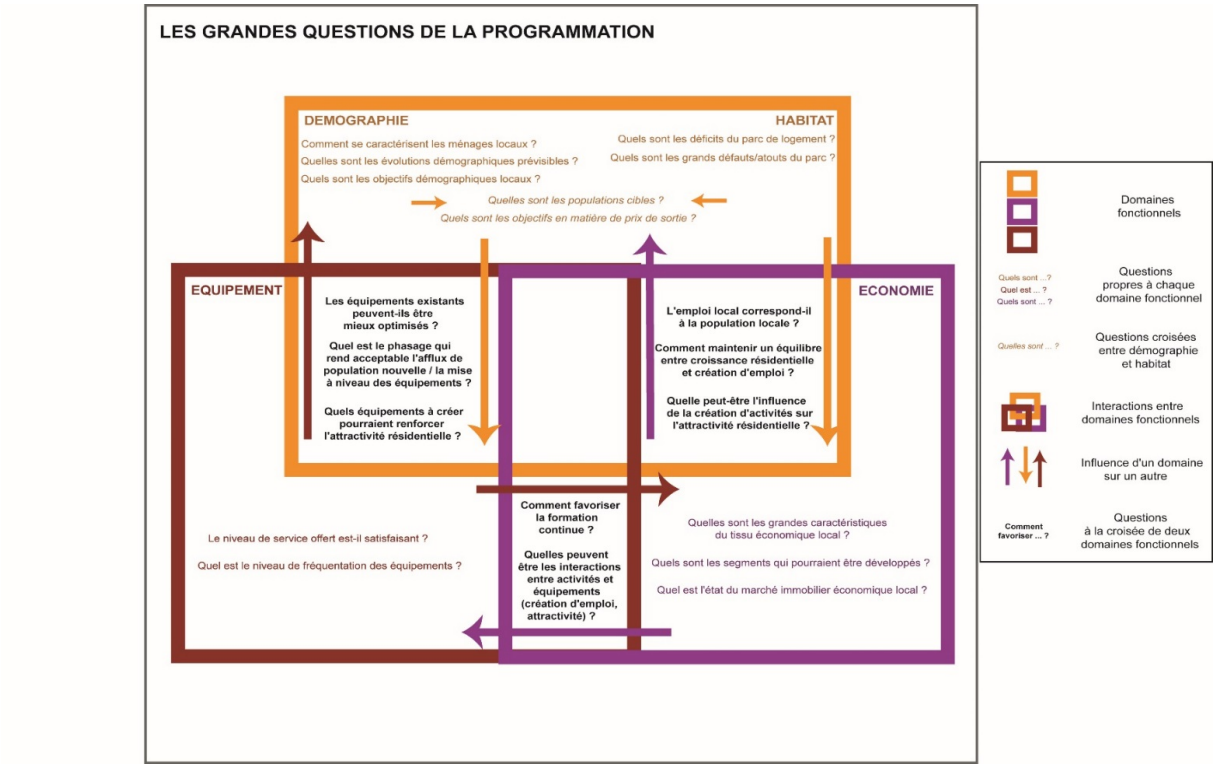


FIG. 3.6 – *Appréhension systémique de la composition du territoire par l'Agence Alphaville*

Cette manière d'aborder la mobilité et de l'associer à la territorialité rejoint le propos de Gabriel Dupuy. En effet, le chercheur considère les réseaux comme vecteurs d'ancrage de l'urbanisme au territoire. Par ailleurs il considère le réseau technique[6] comme l'élément de mise en relation des différents composants du système ville [Dupuy, 1984].

Dans le cadre de la définition structurale du système couverture, il a été choisi de se baser sur ce principe et de se l'approprier. L'espace urbain se spécifie en quatre sous espaces : l'espace mobile, l'espace habité, l'espace équipé et l'espace actif. Transposons cette spécification sur le sous-système

6. Gabriel Dupuy ne se restreint pas dans sa considération aux réseaux de transport et de déplacement humain, il considère l'ensemble des réseaux techniques urbains : réseau d'assainissement, télécommunication, réseaux d'eau potable, etc.

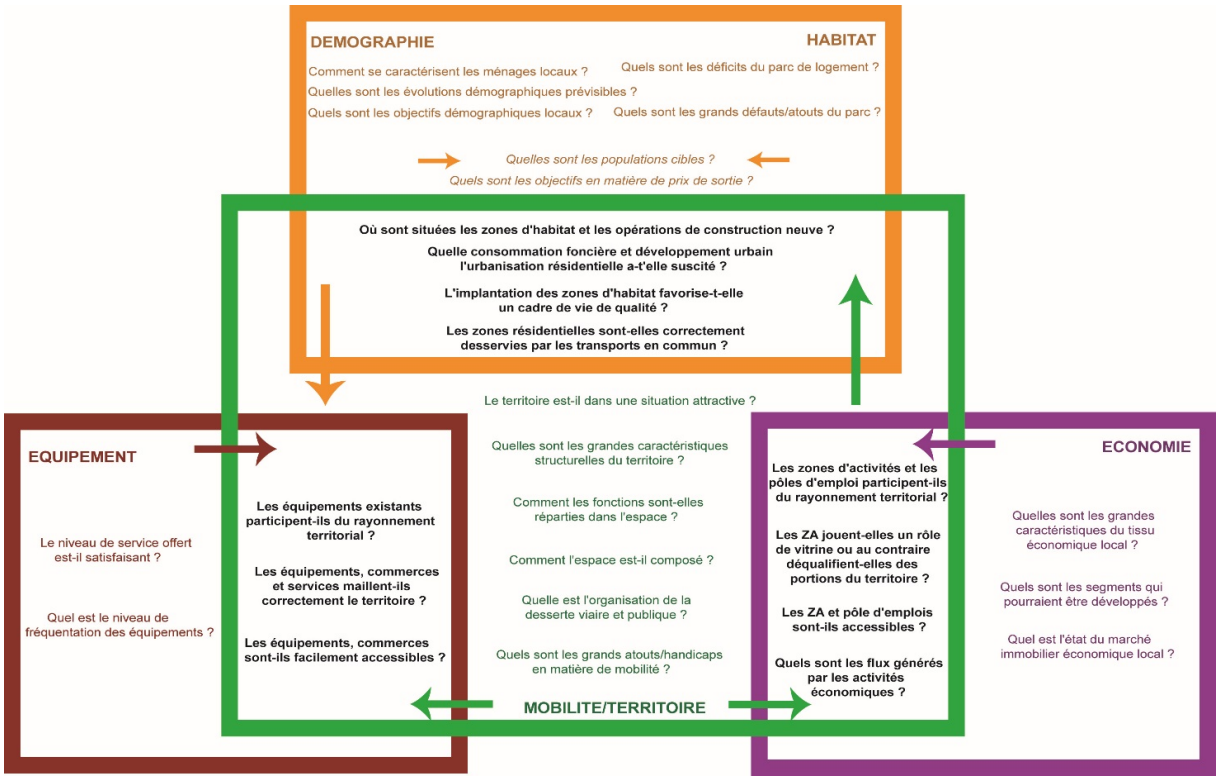


FIG. 3.7 – *Appréhension systémique de la composition du territoire par l'Agence Alphaville*

d'Alexandre Moine (Fig.3.8).

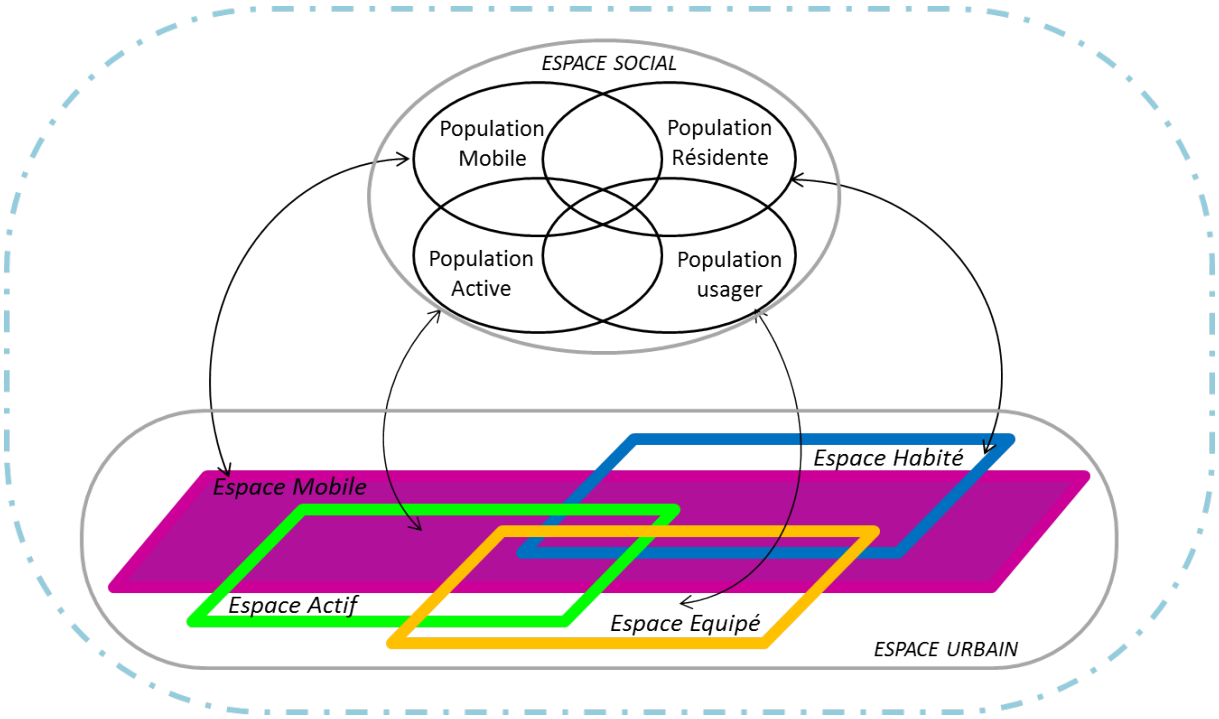


FIG. 3.8 – *Croisement de notre appropriation de la spécification des espaces et du sous-système spatial de Moine*

Pour la suite de ce travail, ces quatre espaces apparaissent au même niveau et de manière déconnectée, le but étant de modéliser le fonctionnement de la couverture au sein de son environnement, et de fait, les relations qu'elle établit avec chacun des espaces spécifiés. Nous conservons bien cependant le mode de pensée systémique exposé dans les paragraphes précédents. A chacun des sous-espaces est associée la population utilisatrice (Fig.3.9). Ainsi, la population mobile regroupe les individus utilisant l'espace mobile pour se déplacer, la population active correspond aux personnes utilisant l'espace, la population usagers aux personnes utilisant l'espace équipé et la population riveraine aux personnes utilisant l'espace habité.

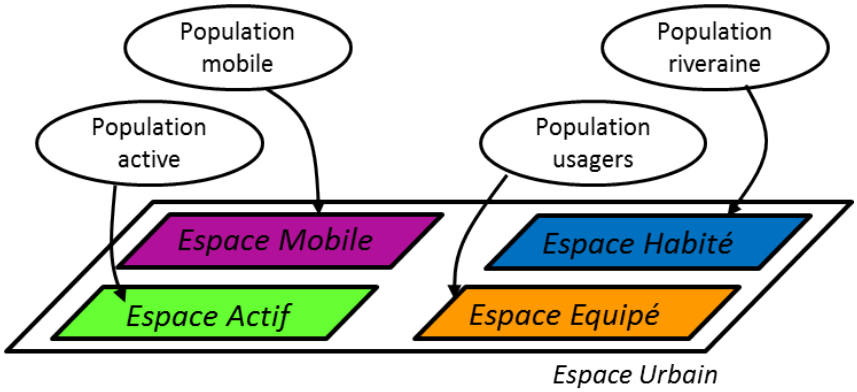


FIG. 3.9 – *Spécification de l'espace urbain et des populations*

Rappelons que la spécification de l'espace employée est non exclusive d'un point de vue géographique. Les spécifications peuvent se superposer ou même se combiner. De la même manière, la typologie de la population est non exclusive. Un individu peut appartenir à un ou plusieurs types de populations.

Afin de mieux cerner cette composition structurale du système urbain de couverture, il s'agit de définir précisément chacun des espaces spécifiés.

3.3.3.2 Espace mobile

L'espace mobile est l'espace accueillant une population souhaitant exercer une activité de déplacement, quel qu'en soit le type. Il se définit comme étant l'espace support des flux de déplacements humains et se compose donc de réseaux ou d'éléments de réseaux. Le réseau tel qu'il est entendu ici, est constitué d'arcs, de nœuds simples et de nœuds multimodaux. Les arcs correspondent aux infrastructures, au maillage, aux lignes de transport en commun, aux pistes cyclables, etc. Les nœuds simples correspondent aux gares, aux stations de métro, aux embranchements de voiries, aux carrefours, etc. Il s'agit plus exactement d'un moyen de connecter plusieurs arcs de même type. Enfin, les nœuds multimodaux s'apparentent à des pôles permettant le passage d'un type de flux (déplacement) à un autre. Des gares peuvent également tenir lieu de nœuds multimodaux par exemple.

Chaque type de flux a son support réseau propre, et dispose potentiellement de connexions avec d'autres. Il est donc apparu logique de décliner l'espace mobile par flux. Pour chacun d'eux sont considérés les arcs et nœuds simples. Pour être plus précis quant à l'usage de ces réseaux, cette

catégorie peut être décomposée par flux (type d'utilisation) : réseau piéton, réseau automobile réseau de transports en commun, réseau cycliste. Un cinquième composant de l'espace mobile apparait : les connexions multimodales. Il s'agit de nœuds particuliers considérés indépendamment des autres. Ils comprennent des nœuds connectant des arcs d'au moins deux flux distincts.

3.3.3.3 Espace habité

Cet espace doit accueillir et supporter l'activité « habiter ». Il est donc constitué assez logiquement de logements. Pour être plus précis dans la description de cet espace et rester cohérent avec notre angle d'approche, il s'agit de décliner ce support d'habitation en fonction de la manière d'habiter, d'investir le support logement.

L'INSEE s'appuie sur plusieurs moyens de qualifier et catégoriser les logements : par la morphologie, par les densités, selon qu'ils soient collectifs ou individuels, etc. Il parait ici plus pertinent de se référer à la nature du logement en fonction de la fréquence et du but de l'occupation. Sur ce principe, l'INSEE considère que les logements se déclinent en quatre types : les logements principaux, les logements secondaires, les logements occasionnels, et enfin les logements vacants [INSEE, 2015]. Les logements principaux et secondaires correspondent à des notions assez claires. Le logement principal correspond à un logement dans lequel des individus habitent quotidiennement. Le logement secondaire s'apparente à un logement utilisé une partie de l'année pour des périodes plus ou moins courtes (logement pour les vacances par exemple). Les logements occasionnels et vacants méritent quant à eux d'être définis plus précisément. L'INSEE définit un logement occasionnel comme « un logement ou une pièce indépendante utilisée occasionnellement pour des raisons professionnelles (par exemple, un pied-à-terre professionnel d'une personne qui ne rentre qu'en fin de semaine auprès de sa famille). ». Seront alors considérés les résidences étudiantes, les hôtels, etc. Le logement vacant correspond quant à lui, d'après l'institut, à « un logement inoccupé se trouvant dans l'un des cas suivants :

- proposé à la vente, à la location ;
- déjà attribué à un acheteur ou un locataire et en attente d'occupation ;
- en attente de règlement de succession ;
- conservé par un employeur pour un usage futur au profit d'un de ses employés ;
- gardé vacant et sans affectation précisée par le propriétaire (exemple un logement très vétuste...) ».

3.3.3.4 Espace actif

L'espace actif accueille toute activité professionnelle de la population. Les espaces concernés peuvent être de toute forme : bâtis, non bâtis, voirie, etc. Encore une fois, la décomposition de cet espace s'appuie, comme pour l'espace habité, sur une classification de l'INSEE en secteurs d'activité

et sur les définitions faites de ces secteurs [INSEE, 2015]. Un premier niveau de décomposition isole les activités selon les secteurs primaires, secondaires et tertiaires. Les supports d'activités concernés par les deux premiers secteurs sont précisés mais ne nécessitent pas d'être détaillés selon un niveau de granularité plus fin. Le secteur tertiaire mérite une attention particulière. Dans sa définition (INSEE), il regroupe l'ensemble des activités qui ne sont pas incluses dans les deux premiers. Une classification en huit familles peut être faite au sein de ce secteur tertiaire : support d'activité de transports, d'activités financières et immobilières, de services aux entreprises, aux particuliers, d'éducation, de santé, d'action sociales et d'éventuelles activités ne rentrant dans aucune de ces familles.

3.3.3.5 Espace équipé

L'espace équipé supporte l'ensemble des activités de loisirs, consommation, de vie quotidienne, etc. Autrement dit, cet espace est support de toute activité différente d' « habiter », « circuler », et « exercer une activité professionnelle ». Cet espace se décompose en deux niveaux : les équipements lourds d'une part, et les réseaux techniques d'autre part. Ces deux types d'équipements nécessitent à un niveau de détail plus fin dans leur décomposition.

Concernant les équipements lourds, le choix du découpage se base sur une classification de l'INSEE. Elle distingue les équipements recevant des activités d'enseignement, les équipements spécifiques au domaine de la santé, les équipements sportifs et culturels, les équipements accueillant des services à la personne, du commerce ou encore les équipements de transports.

Un deuxième type d'équipement correspond aux réseaux techniques (hors déplacement humain). Ces derniers sont décomposables par flux : réseaux d'énergie, eau, assainissement, télécommunication, gaz et déchets.

3.3.4 Différents niveaux de granularité pour différents niveaux de détail

La définition des espaces apporte plusieurs niveaux de précision sur la composition de chacun d'eux. Cette précision permet notamment d'apporter une description structurale fine du système en détaillant chacun de ces composants. L'espace actif par exemple est dans un premier temps détaillé par types d'activités économiques (primaire, secondaire ou tertiaire). Ces trois « sous-espaces actifs » sont ensuite, lorsque nécessaire, décomposés en supports d'activités plus précis. Les supports d'activité primaire concernent les locaux et espaces agricoles uniquement alors que les supports d'activité tertiaire peuvent comprendre des espaces d'activités relatifs à la santé, à l'éducation ou encore aux transports. Cette diversité de supports d'activité mérite d'être détaillée. Ces niveaux de précision dans la décomposition des espaces seront désignés comme des niveaux de granularité (Fig3.10).

Les trois autres espaces sont décomposés de la même manière (Fig3.11). La finesse du niveau de granularité employé dépend du niveau de précision nécessaire à la définition de chaque espace. Par exemple, l'espace habité n'est décomposé que selon deux niveaux de granularité. Le fait de détailler le type de logements principaux n'apporte pas d'information supplémentaire quant à l'usage de celui-ci. A l'inverse, concernant l'espace équipé, les supports d'activités tertiaires présentent des variétés

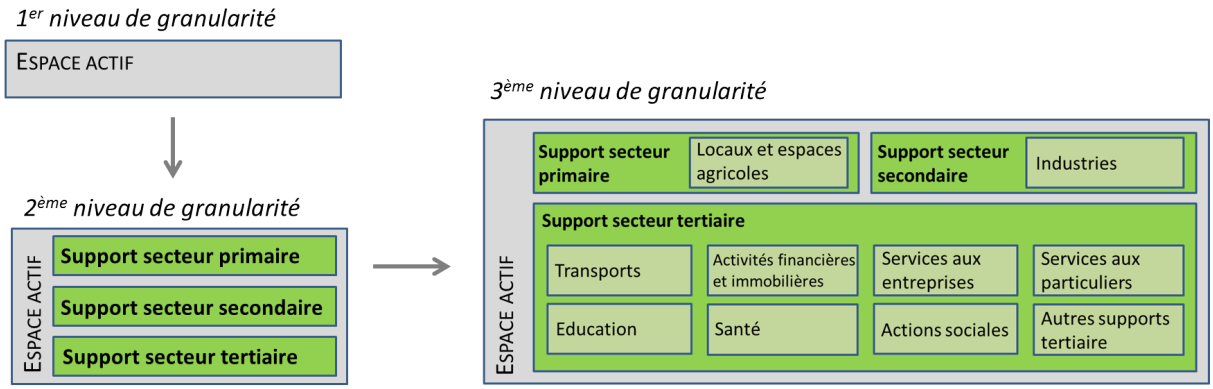


FIG. 3.10 – *Décomposition de l'espace actif sur trois niveaux de granularité*

d'usages qu'il semble important de distinguer. L'activité de la « population usager » est différente dans un commerce ou dans un équipement dédié à la santé.

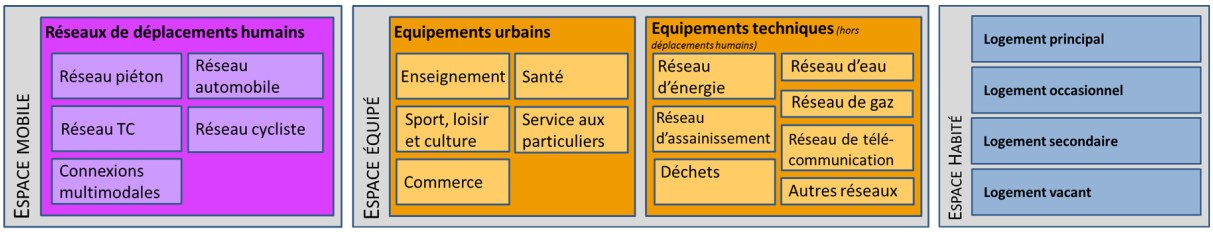


FIG. 3.11 – *Décomposition des espaces mobile, équipé et habité*

3.3.5 Gestion des redondances

La décomposition de ces quatre sous espaces fait apparaître deux types de redondance.

La première concerne les espaces actif et équipé. En effet, les supports de santé, d'enseignement, d'éducation et de service aux particuliers sont représentés assez logiquement en doublon sur les deux espaces. J'ai choisi ici de ne pas procéder par substitution mais de distinguer les deux activités effectives sur un même support et dans deux espaces distincts. Les aménagements liés à la santé par exemple ; dans l'espace équipé, ces aménagements sont uniquement considérés comme support du service qu'ils rendent à la population usagers. Ils sont donc l'objet d'activités de patients ou de clients. Dans l'espace actif, ces équipements seront perçus exclusivement comme un espace professionnel. Il s'agira donc du lieu d'exercice d'une activité professionnelle dans le domaine de la santé. Cette distinction se réplique sur les aménagements liés à l'éducation et aux services aux particuliers.

Le second type de redondance concerne les transports. Il apparait à la fois dans l'espace mobile et l'espace actif. Il est représenté dans sa forme linéaire par l'ensemble de réseaux de déplacements humains dans l'espace mobile. De la même manière que pour le type de redondance précédent, les activités purement usagers et professionnelles sont distinguées. A ce titre, les activités professionnelles sont soutenues par le volet transport de l'espace actif. Une répétition subsiste cependant à propos de la seconde activité. Les usagers de ces équipements de transports, décrits dans l'espace

équipé ne sont autres que la population mobile. De même, ces équipements de transport se matérialisent principalement par le réseau. Cet équipement lourd peut ainsi être soustrait de cet espace, et être considéré dans l'espace mobile par les réseaux de déplacement humain. Les équipements liés aux transports et ne s'apparentant physiquement pas ponctuellement à un réseau (gare, espace de stationnement, ...) sont considérés comme des nœuds particulier intégrés dans le réseau.

3.3.6 Visualisation concrète de la spécification de l'espace

La description structurale du système couverture présente quatre espaces spécifiés en fonction des activités exercées par les populations : l'espace mobile, l'espace actif, l'espace équipé et l'espace mobile. Cette spécification ne présente pas d'exclusivité spatiale : autrement dit, un type d'espace peut partager une aire géographique avec d'autres. Cela s'apparente à une composition théorique et conceptuelle qui ne correspond donc pas visuellement à l'idée qu'on peut avoir d'un espace urbain. Il n'est pas forcément aisé de lire spontanément un espace urbain par le prisme de cette spécification. De fait, une transposition de notre architecture structurale sur un cas concret est proposée dans l'optique de voir la manière dont s'organisent (spatialement et structuralement parlant) les différents espaces. Le principe est de visualiser l'emprise de chacun des quatre espaces sur un même périmètre. Nous avons choisi de travailler sur le secteur Masséna du projet Paris Rive Gauche (Fig.3.12). Les données nécessaires à l'application de cette spécification ont été obtenues sur la base des documents relatifs au projet de la SEMAPA et de visites de terrain.

Dans une volonté de redynamisation de l'espace, la présence importante d'activités était incontournable du projet de Paris Rive Gauche (PRG). Sur cette représentation des ilots ont étés colorés ainsi que certaines voiries. L'avenue de France, la rue longeant la Seine et le faisceau de voies ferrées de la gare d'Austerlitz constituent des axes fortement empruntés dans le cadre d'activités professionnelles. Leur spécification en tant qu'espace actif est donc apparue évidente. Les autres rues du secteur sont empruntées également, mais dans une moindre mesure. Il a été décidé, par soucis de lisibilité de ne pas les faire apparaître en vert ici. Le secteur Masséna n'est pas fortement concerné par le logement. Cet espace habité est plus représenté sur l'ensemble du périmètre projet PRG. Un des objectifs était de privilégier la mixité fonctionnelle du quartier, le but étant de ne pas aboutir à la création d'un simple quartier d'affaire. Le secteur Masséna est particulièrement représenté en tant qu'espace équipé, tel qu'on le définit dans ce travail de recherche. Il est assez rare de voir une proportion si importante d'équipements face aux logements lorsque la mixité fonctionnelle est revendiquée comme objectif. Cette proportion s'explique notamment parce qu'il s'agit d'une partie seulement du périmètre projet, et qu'un ilot est complètement coloré lorsqu'il est représenté par au moins un composant de l'espace en question. Par ailleurs, le secteur Masséna abrite le campus universitaire de Paris 7, il est donc logique d'aboutir à une telle composition. Ce dernier représente 210 000 mètres carrés de locaux universitaire[7]. La trame viaire est entièrement colorée en violet, et considérée comme espace mobile. Certains ilots sont considérés comme des espaces mobiles. Il s'agit de places, de jardins, qui font partie intégrante de cheminements piétons. La détermination des espaces

7. Ces chiffres sont exposés sur le programme du projet Paris Rive Gauche sur le site de la SEMAPA : http ://www.semapa.fr/Amenagement-urbain/Les-operations-en-cours/Paris-Rive-Gauche et le site du projet : http ://www.parisrivegauche.com/

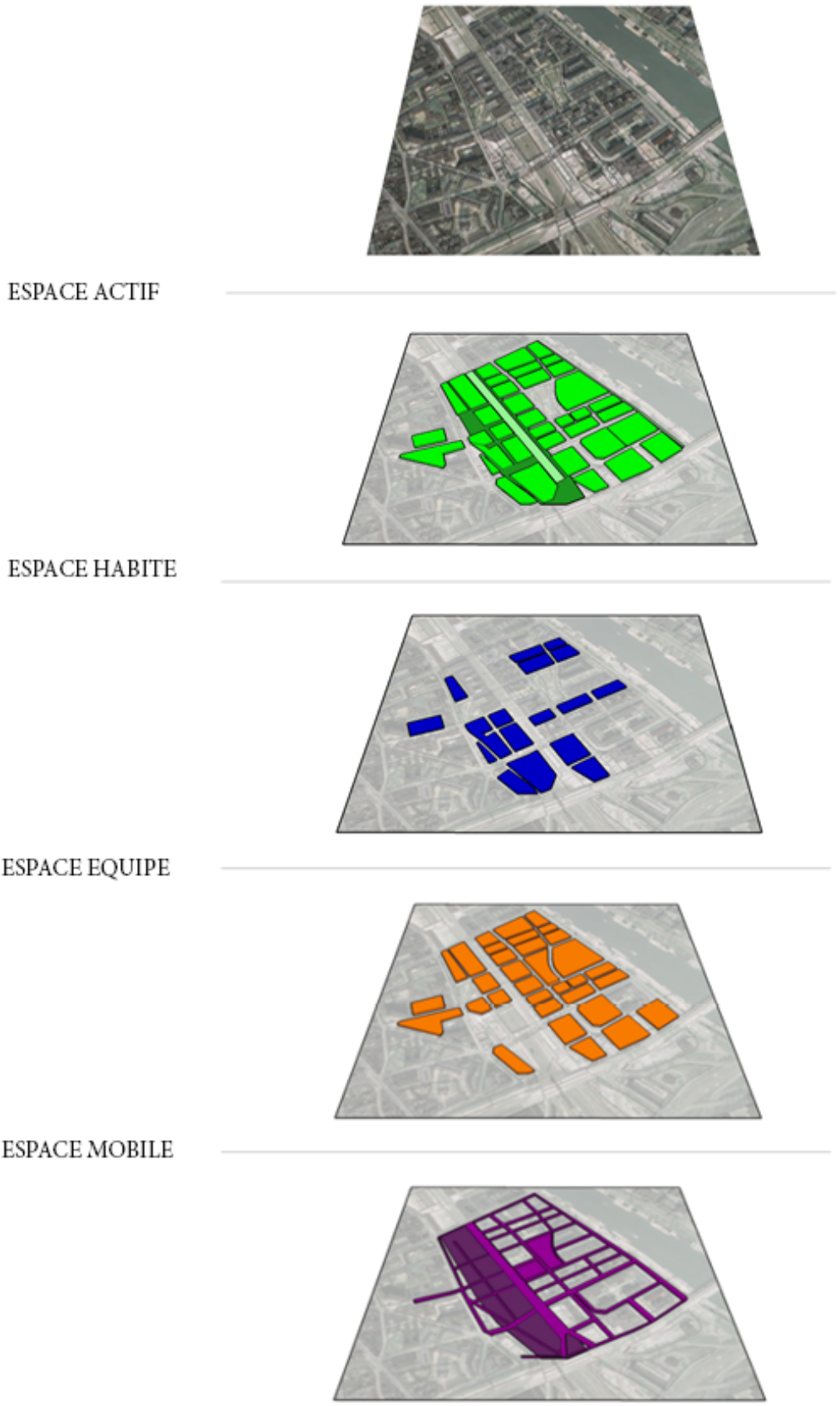


FIG. 3.12 – *Application de la spécification d'espace sur le secteur Masséna (Paris-Rive-Gauche)*

se faisant en trois dimensions, le faisceau de voies ferrées d'Austerlitz apparait donc bien évidemment en tant qu'espace mobile (en violet plus foncé), sous l'avenue de France et les ilots à l'ouest de celle-ci.

Les zones de recouvrement des différents espaces apparaissent comme plutôt évidentes sur ces représentations, notamment entre l'espace équipé et l'espace actif. L'espace mobile quant à lui correspond bien à un support de déplacement, et de fait, supporte une activité sociale, mais également à un ancrage territorial de l'ensemble des autres espaces. Les espaces s'articulent, se connectent et se combinent au sein d'un territoire pour dessiner un système urbain fonctionnant. Cette mise en application clarifie et confirme l'organisation spatiale des quatre espaces pressentis comme composants du système urbain de couverture.

Pour apporter des précisions supplémentaires à cette notion de recouvrement, il est intéressant de mener ce travail de spécification sur un espace plus précis. Nous avons choisi de nous focaliser sur un bâtiment du secteur Masséna concerné par les quatre sous-espaces. Une représentation axonométrique permet de comprendre leur agencement en volume (Fig3.13). Le rez de chaussée du bâtiment est occupé par un restaurant. Il se qualifie à la fois par de l'espace équipé pour la population profitant du service de restauration et de l'espace actif pour la population y travaillant. Il est ensuite surmonté de cinq étages accueillant des logements. L'espace mobile se manifeste en sous-sol par le faisceau ferroviaire d'Austerlitz. Il partage la spécification avec une part d'espace actif pour considérer l'ensemble des individus y exerçant une activité professionnelle.

La décomposition détaillée de chacun des espaces a permis de savoir ce qui fait partie ou non de telle ou telle spécification, et de fait, d'établir une représentation concrète de cette spécification. Cette précision dans la description peut également permettre de dégager des informations détaillées sur la composition du système. Prenons l'exemple de l'espace équipé sur le secteur Masséna (Fig.3.14).

Un premier niveau de décomposition décline l'espace équipé en deux classes : les équipements urbains et les équipements techniques. En se focalisant sur les équipements urbains, les emprises d'ilots oranges peuvent être précisées selon les cinq types d'équipements urbains. Cette décomposition structurale du système sur des niveaux de granularité plus fin concerne également les trois autres espaces.

Les résultats issus de la description structurale du système urbain de couverture ainsi que la détermination de la relation fonctionnelle entre ouvrage de couverture et système permettent de proposer une formalisation plus précise et rigoureuse du système d'étude sur lequel va se construire le modèle. L'élaboration de celui-ci s'attache à considérer évidemment le système, selon le périmètre et la composition déterminés dans ce chapitre, mais fait également un focus sur la couverture en tant qu'objet technique Cela s'explique par le fait qu'elle constitue le moteur de l'étude et comme la raison d'être du modèle.

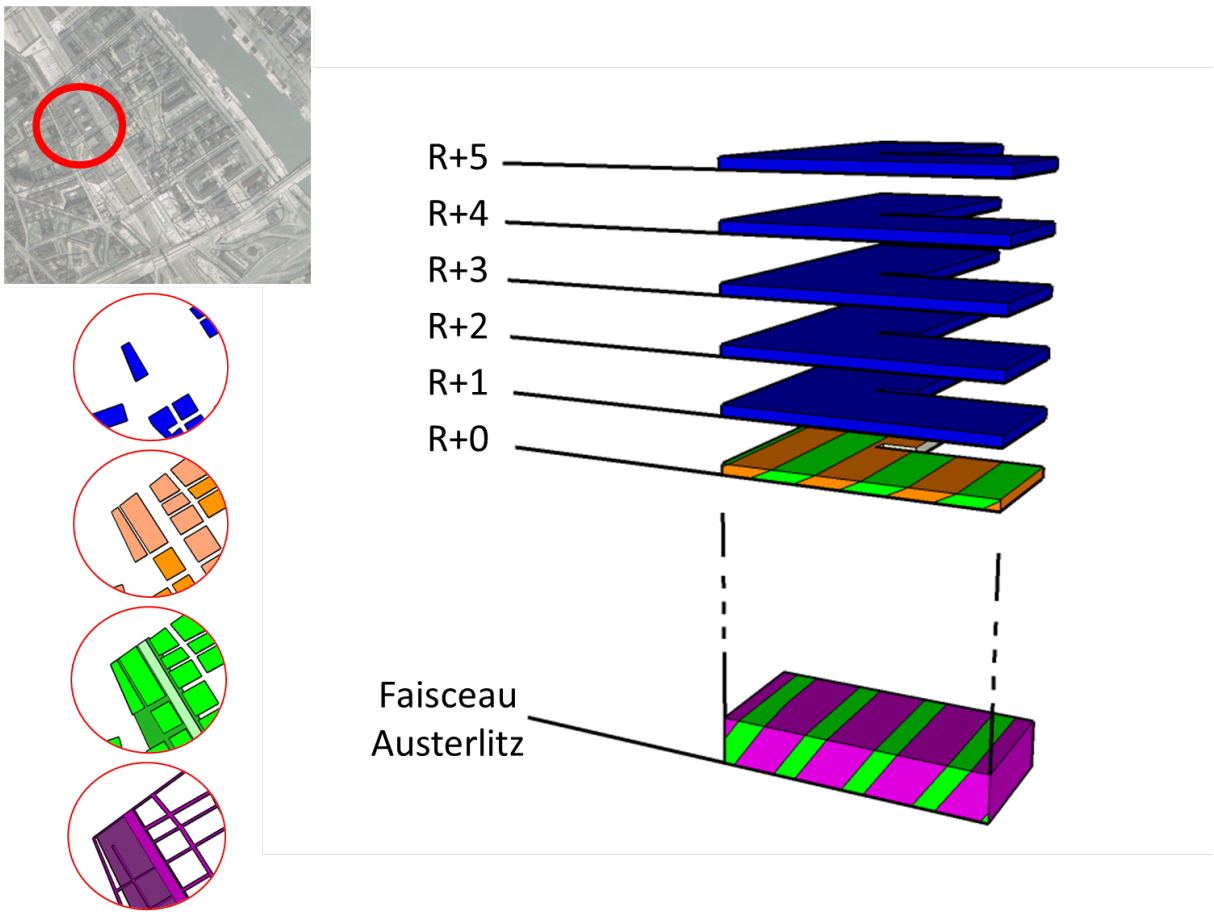


FIG. 3.13 – *Représentation axonométrique de la décomposition sur un immeuble du secteur Masséna*

3.3.7 Proposition de formalisation du système et suite de la méthode

La visualisation sur un cas pratique des espaces et de leur décomposition en des niveaux de granularité plus fins, montre qu'il est possible de définir concrètement la structure du système couverture tel qu'il est décrit dans ce chapitre. Dans le but d'élaborer une méthode d'évaluation de ce système, une formalisation plus théorique de celui-ci s'impose. Jean-Louis Le Moigne propose une méthodologie de description d'un système dans son ouvrage La théorie du système général [Le Moigne, 1969]. Celle-ci se structure autour de six questions. Le principe est d'interroger le système pour construire une description générale et globale de celui-ci. Le système est quelque chose, dans quelque chose, existe pour quelque chose, fait quelque chose, par quelque chose, qui se transforme dans le temps. Le système est ainsi renseigné sur sa nature, sur l'environnement dans lequel il s'intègre, sur son but, sur la manière dont il procède pour l'atteindre et enfin sur son évolutivité. Didier Allaire reprend ce procédé méthodologique sous la forme d'une « grille interprétative des systèmes », dans sa description du système parc immobilier [Allaire, 2012]. Il s'agit dans un premier temps de soumettre les deux objets définis dans ce chapitre, l'ouvrage de couverture (Tab.3.2) et le système urbain de couverture (Tab.3.3) à cette méthode et grille d'interprétation.

L'objet technique couverture apparait, à l'étude de ces grilles interprétatives, comme le noyau dur du système. Il conditionne a priori le bon fonctionnement du système. Par ailleurs, son périmètre

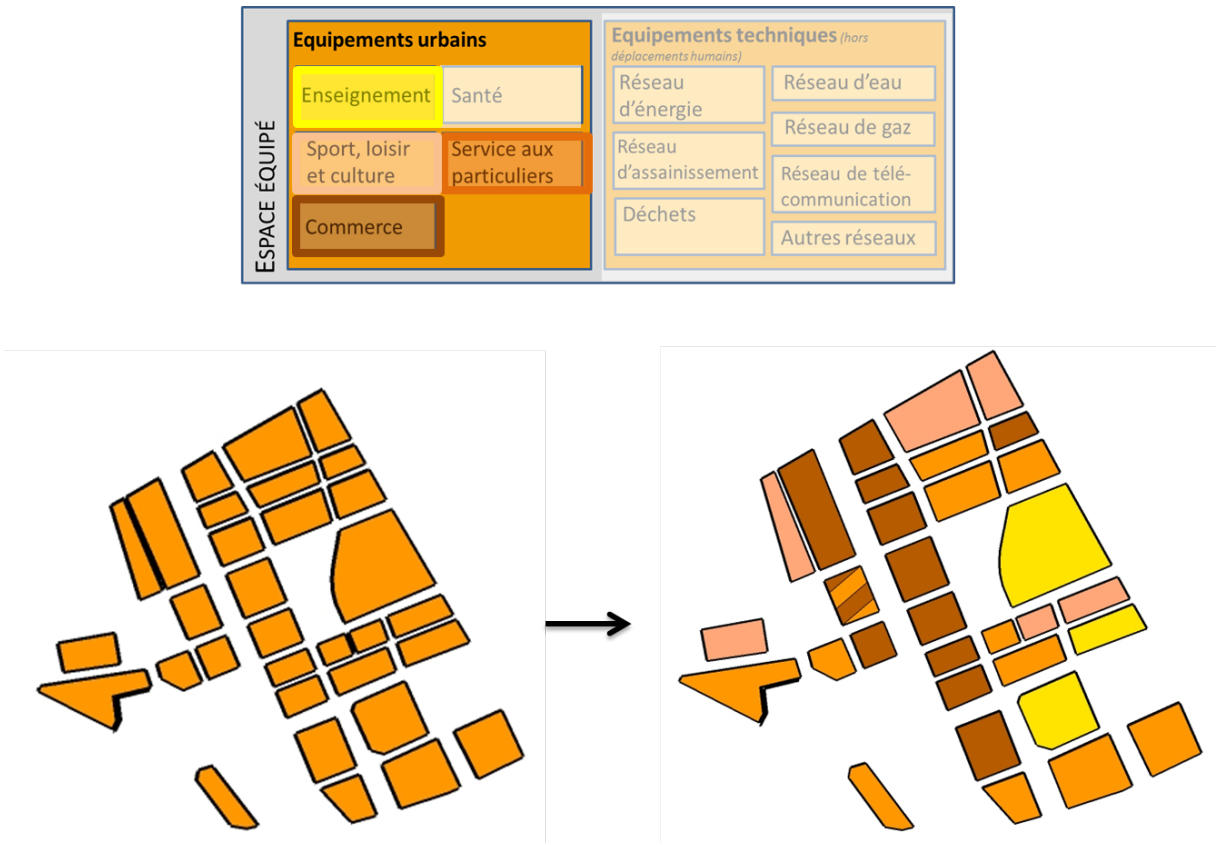


FIG. 3.14 – *Espace équipé du secteur Masséna décomposé plus finement*

TAB. 3.2 – *Grille d'interprétation de l'objet technique couverture, inspiré de [Allaire, 2012] et [Le Moigne, 1969]*

Quelque chose	L'objet technique couverture
Dans quelque chose	Le système urbain de couverture
Pour quelque chose	? (son but, sa finalité)
Fait quelque chose	? (son fonctionnement)
Par quelque chose	Un ouvrage de génie civil
Qui se transforme dans le temps	Pérenne dans le temps

fige et unanimement défini ainsi que sa pérennité dans le temps lui confèrent une forte stabilité. Il s'intègre au sein du système et agit pour résoudre le conflit dont il fait l'objet. Ce système urbain de couverture décrit quant à lui une complexité évidente. Outre son caractère urbain, il se caractérise par des limites spatiales floues et décrit une forte évolutivité.

La spécification des quatre espaces : mobile, habité, actif et équipé, associés à un type de population, a permis de déterminer l'objectif global du système urbain ainsi définit : « permettre aux population d'utiliser l'espace urbain ». Mais la description fonctionnelle du système (ainsi que de l'ouvrage) n'est pas achevée. Le champ « Fait quelque chose » des grilles interprétatives demeure

TAB. 3.3 – *Grille d'interprétation du système urbain de couverture, inspiré de [Allaire, 2012] et [Le Moigne, 1969]*

Quelque chose	Le système urbain de couverture
Dans quelque chose	Un milieu urbain (méta système à plus grande échelle)
Pour quelque chose	? (son but, sa finalité)
Fait quelque chose	? (son fonctionnement)
Par quelque chose	Un espace urbain et les populations qui en font l'usage
Qui se transforme dans le temps	En constante évolution (au rythme des différentes dynamiques urbaines)

encore vide. Il est nécessaire donc à présent de formuler très clairement la finalité du système et de déterminer les mécanismes interactifs mis en œuvre par le système urbain de couverture pour fonctionner.

En conclusion ...

La complexité inhérente à l'intégration de la couverture au sein d'un environnement urbain a conduit à l'emploi de la systémique. Ce champ méthodologique permet notamment de s'orienter vers la construction d'un modèle tout en acceptant et en intégrant la complexité et en y apportant une vision globale et transversale. Ce choix amène alors à définir un système urbain de couverture. La couverture en tant qu'objet de génie civil est considérée dans son environnement et dans sa dimension urbaine. Cette définition se décline en deux temps : une description d'abord structurale puis fonctionnelle.

Une première description structurale permet de saisir la composition du système et son organisation spatiale. Le système urbain de couverture se compose d'espaces qui sont les supports d'activités de populations prenant également part au système. Ces espaces et populations sont spécifiés de manière non exclusive en quatre types, correspondant à quatre usages : un espace mobile supportant une population mobile, un espace habité supportant la population riveraine, un espace actif supportant la population active, et enfin un espace équipé supportant une population d'usagers.

Chacun de ces espaces peut être précisé et décomposé à des niveaux de détail plus fins, qui sont appelés ici niveaux de granularité. Cette échelle de décomposition permet dans un premier temps de définir précisément ce qui compose chaque espace. Dans un second temps, elle contribuera à une compréhension plus fine du fonctionnement de la couverture et du système pour la suite de l'étude.

En effet, cette description structurale doit être combiné à une description fonctionnelle pour aboutir à la définition et la modélisation du système et de la couverture dans son système. Cette étape consiste en premier lieu en la recherche de la finalité du système. Il s'agit donc de comprendre pourquoi et comment évolue le système, quelles sont ses conditions d'existence ?

CHAPITRE 4

Finalité du système : la couverture en réponse à un conflit

La structure du système urbain de couverture se compose de quatre espaces spécifiés (espace mobile, espace actif, espace habité et espace équipé) et des populations qui y exercent une activité (population mobile, active, riveraine et usager). La description fonctionnelle du système doit permettre de compléter cette définition en déterminant les interactions et mécanismes dynamiques et fonctionnels en œuvre entre les composants de système, en fonction d'un but. Il convient donc de s'attacher à une étape primordiale dans la description fonctionnelle du système : la définition de sa finalité.

Ce chapitre commence par se référer aux motivations mêmes des projets de couverture. Autrement dit, quel élément déclencheur a justifié la solution de couverture. L'étude de situation avant-couverture fait ressortir très clairement un jeu de nuisances mutuelles entre l'infrastructure de transport et l'espace urbain traversé. L'application d'une modélisation conceptuelle sur ces diverses nuisances conduit à l'identification d'un conflit entre les deux entités.

La couverture et son système se positionnent en réponse à ce conflit. Ce chapitre se concentrera ensuite sur la recherche de la finalité de la couverture au sein de son système et la finalité du système urbain de couverture. Pour cela, il est préconisé d'employer l'un des procédés de la systémique : la méthode d'analyse fonctionnelle. La démarche vise à comprendre le positionnement fonctionnel de la couverture au sein de son système et de déterminer la fonction générale et globale qui la régit et qui conditionne son existence.

4.1 Première appréhension fonctionnelle du système

Le travail de description structurale du système urbain de couverture a permis de déterminer les limites et l'architecture de celui-ci. Mais cela ne suffit pas pour le définir. Un système doit exister en fonction d'un but, d'une finalité. La description fonctionnelle s'attache à déterminer cela. Dans le cas du système urbain de couverture, cette appréhension doit tout d'abord s'attacher à l'objectif de la couverture en tant qu'ouvrage de génie civil. En effet, cet objet technique est ce qui initie et détermine la définition du système. Pour cela, il faut avant tout, dans l'approche de description fonctionnelle du système, s'interroger sur comment et pourquoi la couverture s'intègre dans son environnement, et donc dans le système.

4.1.1 Le système urbain de couverture et finalité

Le système de couverture se compose d'un espace urbain et de populations qui l'utilisent. Il a été choisi de spécifier espace et populations en quatre types : l'espace mobile, l'espace équipé, l'espace actif et l'espace habité, supports respectifs des populations mobiles, usagers, actives et riveraines. Cette architecture structurale permet de décrire l'ossature et l'organisation spatiale du système mais ne suffit pas à le définir. En effet, un système ne peut être entendu comme la somme de ses composants. L'organisation et les relations entre ces différents composants est ce qui caractérise réellement le système. C'est ce qui correspond à la description fonctionnelle du système.

Les chapitres précédents ont assimilé la couverture à un traitement local possible des effets intrusifs et nuisibles des grandes infrastructures routières et ferroviaires au sein d'un milieu urbain dense. Ces infrastructures sont perçues comme des monstres urbains par les populations alentours. Outre les nuisances diverses occasionnées, la coupure urbaine constitue le problème majeur des espaces urbains traversés par une infrastructure de transport. Il parait donc évident que la finalité de la couverture s'oriente dans ce sens. Si le système semble effectivement avoir un rôle dans la résorption locale de la coupure urbaine créée par l'infrastructure de transport, il doit également intégrer d'autres aspects relatifs aux autres objectifs et « sous-objectifs » remplis.

L'étude de la base de données du projet CANOPEE, permet d'extraire les objectifs exposés pour les couvertures. Dans le cas de Porte des Lilas, par exemple, l'objectif initial du projet, et plus particulièrement de la couverture au sein du projet, était de réduire les nuisances sonores, la pollution atmosphérique et de rétablir la continuité entre Paris et la commune des Lilas. La réduction du bruit apparait également comme initiateur de la couverture de l'A3 à Bagnolet. A cela s'ajoute une « volonté de développement ». Les Rondas de Barcelone affichent quant à elles des objectifs de différenciation et d'augmentation de la capacité des circulations ou encore de création d'espaces publics. La finalité de la couverture ne peut donc se réduire au traitement de la coupure, elle doit prendre la forme d'une fonction générale plus large. La recherche de celle ci n'est pas aisée, et doit recourir à une méthode rigoureuse pour la déterminer. En effet, si la base de données permet d'identifier en grande partie les objectifs des différents projets, il s'agit « d'objectifs affichés » avec une visée parfois plus politique qu'informative. Il faut donc rester prudent sur ce point.

Le terme de finalité employé ici se définit comme un état (ou une action) final qu'un objet (dans ce cas : un système) doit atteindre pour satisfaire son objectif. Elle constitue la raison d'être du système. Pour prendre un exemple, la finalité d'un tronçon de voies ferrées entre deux gares est de permettre la mobilité de biens ou de personnes entre les deux points connectés. Ainsi, chaque action ou processus de l'objet participant à la réalisation de cet objectif doit être comprise dans cette finalité. La finalité se positionne vis-à-vis d'un besoin exprimé, par un objet, un processus ou un système.

La notion de besoin mérite également d'être précisée. Robert Tassinari cite une première définition du besoin issue du Dictionnaire de l'académie des sciences commerciales « Perception chez une personne d'un manque ou d'un excès de ce qui lui est nécessaire. ». L'AFNOR, dans la norme NF X50-150, définit quant à elle le terme de besoin de la manière suivante : « Un besoin est une nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur » [Tassinari, 2003]. Ces deux définitions du besoin sont très similaires et évoquent une nécessité éprouvée par un utilisateur.

4.1.2 Des nuisances comme motivation des projets de couverture

La recherche de la finalité du système urbain de couverture ne peut se faire sans l'identification du besoin auquel il répond. Il convient donc de s'intéresser à l'état avant couverture qui a exprimé un besoin pour lequel la couverture constitue une potentielle réponse.

L'étude de la base de données (section 2.1.1 du Chapitre 1 à la page 44), élaborée dans le cadre du projet CANOPEE a permis de s'intéresser précisément aux motivations des projets de couvertures. Cette base de données recense une centaine de couvertures en France et à l'international. Elle renseigne ces différents ouvrages sur l'ensemble des champs disciplinaires concernés par ce type de projets. Pour ce travail de modélisation de l'environnement de la couverture, nous nous sommes intéressés aux deux champs « Objectifs affichés de la couverture » et « Programmation de l'espace ». Ces deux items retranscrivent les éléments impulsant et motivant les couvertures sous la forme d'insatisfactions, ou d'opportunités à saisir. Les informations recueillies doivent être considérées avec précaution, dans le sens où les objectifs ou orientations d'un projet peuvent également avoir un rôle politique. Cependant, malgré ces mesures, le croisement avec d'autres travaux de recherche permet d'appuyer la bonne représentativité des informations contenues dans la base de données [Héran, 2011a].

En Ile de France, deux insatisfactions apparaissent majoritairement comme initiatrices des projets de couvertures. Sur 31 opérations, onze affichent le bruit comme l'un des facteurs qui motive la mise en place d'une couverture sur les voiries concernées. Ce désagrément est plus représenté dans le cas d'infrastructures de transports ferrés. Le problème du bruit est suivi de près par le phénomène de coupure, évoqué à sept reprises comme motivation de projet. La réduction de la coupure urbaine apparait de manière notable pour les deux types d'infrastructures. Trois couvertures affichent un traitement de la coupure sur voies ferrées, et quatre projets sur autoroutes urbaines. De manière moins marquée, d'autres arguments sont revendiqués, comme la pollution de l'air, ou le potentiel inexploité en termes de développement ou redynamisation urbaine. Les proportions de nuisances

TAB. 4.1 – *Proportion de motivations représentées dans la base de données*

	Bdd Ile de France		Bbb Complète	
	VF	VR	VF	VR
Réduire les nuisances sonores	7	4	10	6
Réduire la coupure urbaine	3	4	5	6
Implanter un équipement particulier	1	1	2	4
Créer une centralité	1	2	1	2
Réduire la pollution de l'air	1	2	2	3
Impulser du développement urbain	1	4	3	8
Renouveler le territoire	/	1	/	1
Améliorer la qualité de vie	/	/	2	3
Valoriser le territoire	/	/	/	3
Concilier deux projets ou deux volontés politiques	/	/	/	1
Créer un sol	1	/	3	/

représentées dans la base de données complète confirme l'importance donnée au traitement de la nuisance sonore et de la coupure mais fait également ressortir une autre motivation du projet de couverture : la volonté d'impulser un développement urbain. En effet, cet aspect apparait comme la seconde motivation à l'initiative d'un projet de couverture, au même niveau que la réduction de la coupure générée par l'infrastructure de transports. Cette tendance se vérifie plus particulièrement sur les cas internationaux.

Le tableau présenté ici (Tab.4.1) expose les motivations telles qu'elles sont évoquées par les documents ou acteurs de références des différents projets. Il affiche donc des éléments qui se font écho, qui s'englobent et parfois qui se répètent. Par exemple, le fait d'améliorer le cadre de vie peut intégrer le fait de réduire la nuisance sonore, ou en second exemple, impulser du développement urbain englobe potentiellement la création de foncier et/ou de centralité. Il était néanmoins important de reprendre les termes employés pour comprendre clairement les revendications évoquées. Ces motivations des projets de couvertures s'expriment sous deux formes. La première concerne des insatisfactions clairement revendiquées : le bruit par exemple, la pollution atmosphérique ou encore la coupure. Le second type correspond plutôt à des opportunités à saisir. Il s'agit d'impulser du développement urbain, de créer du foncier ou une centralité. Autrement dit, il s'agit de mettre en évidence une situation qui ne permet pas, en état (sans couverture), de se saisir du potentiel urbain local. En ce sens, ces deux types de motivations peuvent être regroupés dans la notion de nuisance.

4.1.3 Introduction au concept de nuisance et typologie

Une nuisance est un facteur de gêne, occasionné volontairement ou involontairement par un agent nuisible sur un agent sensible. L'ensemble des insatisfactions ou d'opportunités peuvent se regrouper dans ce concept de nuisance. L'intérêt de travailler par référence à cette notion est de pouvoir obtenir une vision structurée des revendications ou des justifications de programmation. (Les termes de « nuisances » et de « gêne » sont par exemple parfois confondus.). Cette transposition vis-à-vis de la définition peut ainsi permettre d'identifier et de formaliser leur provenance (agent nuisible), leur(s) impact(s) (les gênes), et leur cible (agent sensible).

La définition de nuisance proposée décline deux natures de nuisances : celles émises volontairement et celles engendrées de manière involontaire. Les nuisances volontaires correspondent aux contraintes imposées par une politique ou une population sur un objet urbain ou les usages de celui-ci. Les nuisances involontaires quant à elles, se déclinent en deux types. La première se réfère aux obstacles ou entraves physiques (c'est le cas de la coupure générée localement par l'infrastructure par exemple). La seconde regroupe les différentes pollutions (bruit, intrusion visuelle ou encore pollution atmosphérique). Cette première typologie permet de s'attacher à l'ensemble des nuisances émises dans cet environnement urbain. Frédéric Héran [Héran, 2011a] préconise également l'adoption d'une vision globale des nuisances émanant d'une grande infrastructure de transport. Ce travail ne s'attache cependant pas aux interrelations entre nuisances exposées par l'auteur mais plus à la relation entre nuisances et gênes.

4.1.4 Processus Nuisance/Gêne

La définition proposée pour le terme de nuisance fait apparaître une relation évidente de causalité entre nuisance et gêne. L'étude des nuisances ne peut en effet être abordée sans la prise en compte des gênes qu'elles provoquent [Morel, 2012].

La gêne s'apparente à la conséquence sensible et préjudiciable de la nuisance. Elle se traduit par un désagrément ou une situation préjudiciable pour un agent sensible. La gêne est principalement liée à un inconfort ou à une contrainte directe d'adaptation (concernant une pratique). Ces deux types de gêne ne peuvent pas être considérés comme indépendants puisque chacun d'eux peut influer sur l'autre et accroître son effet (un inconfort peut conduire à une adaptation d'une pratique par exemple). Un troisième type de gêne, qualifié de secondaire, à savoir la gêne psychologique, liée aux deux autres et influençant la perception même de gêne, est également retenu et aura un intérêt particulier dans la phase de quantification [Morel, 2012]. Cette typologie peut être croisée avec celle établie pour les nuisances. Les nuisances volontaires, dont les contraintes, vont provoquer des gênes vis-à-vis des pratiques de l'espace (circuler ou accéder à un équipement par exemple), tout comme les « entraves physiques ». En revanche, les nuisances involontaires de type pollution occasionnent des gênes d'inconfort. Ces trois types de nuisances peuvent également être la source de gênes psychologiques. L'expression de la gêne et sa perception par une population va dépendre des territoires, des populations, des politiques locales, du tissu urbain local, etc.

La définition de gêne présentée ici implique que chacune d'elle peut être associée à une nuisance qui l'occasionne. En reprenant les nuisances déterminées par l'étude de la base de données de couver-

tures, les gênes potentielles au sein d'un espace urbain traversé par une infrastructure peuvent être listées (Tab.4.2).

TAB. 4.2 – *Nuisances déterminées avec l'étude de la base de données et gênes associées*

Nuisances	**Gênes**
Coupure	Altération des déplacements / Réduction de l'accessibilité
Discontinuité des réseaux	Altération des déplacements / Réduction de l'accessibilité
Consommation d'espace / Coupure linéaire	Entrave au développement urbain
Intrusion visuelle	Inconfort visuel
Bruit	Inconfort sonore
Vibration	Inconfort vibratoire
Pollution atmosphérique	Inconfort olfactif
Mesures de réduction du bruit	Réduction de la vitesse de circulation
Délimitation de l'espace	Impossibilité d'augmenter ou de faire évoluer la capacité de l'infrastructure

Les nuisances dites environnementales que sont le bruit, la pollution atmosphérique, les vibrations et l'intrusion visuelles occasionnent des gênes qui se traduisent par un inconfort particulier. La coupure et la discontinuité des réseaux conduisent à la même gêne dans l'accessibilité. Les mesures de réduction du bruit conduisent à la réduction de la vitesse de circulation sur l'infrastructure. Enfin la consommation et la délimitation d'espace entrainent un frein au développement ou à l'évolution de l'infrastructure ou de l'espace traversée par elle.

4.1.5 Modélisation du processus Nuisance/Gêne

La définition de la nuisance ainsi établie, met en action deux agents sujet et récepteur du processus : l'agent nuisible et l'agent sensible. Je propose d'identifier et de confronter les différents couples formés par les agents nuisibles et les agents sensibles présents dans l'environnement. Les deux agents nuisibles correspondent à l'infrastructure de transports d'une part, et à l'espace urbain « du dessus » d'autre part. Ce dernier correspond à l'espace urbain au-dessus et autour de la couverture, il n'intègre donc pas ici l'infrastructure de transport couverte. Les activités inhérentes à ces deux agents sont intégrées dans ces termes. Le terme activité désigne tout usage possible de l'entité (habiter, circuler, ...) par une population. Les agents sensibles sont quant à eux humains ou urbains. La population est le premier agent sensible humain concerné. Elle regroupe l'ensemble des individus évoluant, de quelques manières que ce soit, dans l'espace urbain. Dans ce travail de modélisation, la population

utilisatrice de l'infrastructure et la population utilisatrice de l'espace urbain sont dissociées pour obtenir une meilleure lisibilité. Il est cependant important de préciser qu'il ne s'agit pas concrètement d'une classification exclusive. Un individu peut appartenir à l'une et/ou l'autre de ces populations. Les agents sensibles urbains se rapportent, quant à eux, aux deux agents nuisibles identifiés : l'espace urbain et l'infrastructure de transports (Tab.4.3).

TAB. 4.3 – *Couples d'agents nuisibles/sensibles sur l'environnement*

	Couple 1	Couple 2	Couple 3	Couple 4
Agent nuisible	Infrastructure	Espace urbain du dessus	Infrastructure	Espace urbain du dessus
Agent sensible	Population utilisatrice de l'espace de dessus	Population utilisatrice de l'infrastructure	Espace urbain du dessus	Infrastructure

Le premier couple identifié associe l'infrastructure de transport comme agent nuisible et la population utilisatrice de l'espace urbain comme agent sensible. Ce couple est impliqué dans les processus de deux types de nuisances. L'infrastructure tient lieu de coupure. Celle-ci se traduit aussi bien par sa forme et structure physique, qui fragmente le territoire en deux, que par son activité la rendant infranchissable [Anclaes et al., 2014], [Handy, 2002]. Ce premier couple est également concerné par les nuisances environnementales, et les gênes associées. L'infrastructure de transport et l'activité qu'elle accueille, est la principale source de pollutions sonores, atmosphérique, de vibrations et d'intrusion visuelle, dont les gênes, si elles s'expriment, impactent directement les populations utilisatrices de l'espace urbain [Lambert and Philips-Bertin, 2009].

Le second couple, où l'espace urbain du dessus prend le rôle de l'agent nuisible et la population utilisatrice de l'infrastructure de transport celui d'agent sensible, est concerné par les nuisances dites volontaires, autrement dit aux contraintes émises volontairement. En effet, il s'agit ici de réglementations ou dispositifs mis en place pour améliorer le confort des populations utilisatrices de l'espace urbain mais qui restreignent où contraignent les utilisateurs de l'infrastructure de transport à adapter leur activité. Il s'agit par exemple, de la réduction d'une vitesse de circulation sur un tronçon de voie.

Le troisième couple confronte l'infrastructure de transport comme agent nuisible à l'espace urbain du dessus comme agent sensible. Les nuisances effectives au sein de ce couple sont de type entrave au développement. Elles sont principalement dues à la coupure générée par l'infrastructure de transport et à la consommation d'espace importante qu'elle génère. Cet espace peut être considéré comme une opportunité foncière mais inexploitable en l'état.

Pour finir le quatrième couple se compose, à l'inverse du troisième, de l'espace urbain du dessus comme agent nuisible et de l'infrastructure de transport comme agent sensible. Les nuisances sont de même nature que pour le troisième couple, à savoir entrave au développement. Il s'agit ici de l'encadrement physique que dessine l'espace urbain aux franges de l'infrastructure de transport. Cette dernière est contenue dans un volume précis, contraignant ainsi ses possibilités d'évolution ou

de développement.

Il existe un lien clair de causalité directe et non systématique entre la nuisance et la gêne. Ce lien peut être littéralement traduit de la manière suivante : Un agent nuisible occasionne une nuisance. Cette nuisance est potentiellement facteur d'une ou de plusieurs gênes. Cette gêne est plus ou moins perçue par un agent sensible. Dans le cas du bruit par exemple, correspondant au cas 1 de couple d'agents nuisibles/sensibles, l'infrastructure de transport occasionne une pollution sonore. Cette pollution sonore est potentiellement facteur d'inconfort sonore. Cet inconfort sonore est plus ou moins perçu par la population utilisatrice de l'espace urbain.

4.1.6 Identification du conflit par modélisation

Il s'agit à présent de comprendre et visualiser l'articulation et l'impact du processus dans l'environnement, et ainsi de cerner au mieux le dysfonctionnement. Afin de modéliser ce processus, il convient d'identifier de façon exhaustive, de qualifier et de désigner les agents nuisibles et sensibles dans ce contexte de couvertures d'infrastructures en milieu urbain et de définir le ou les liens de causalité les reliant.

4.1.6.1 Les modèles conceptuels de données

La structuration de ce lien peut être représentée à partir des schémas conceptuels de données. Il s'agit, comme dans l'exemple du Macroscope de Joël de Rosnay [De Rosnay, 1975], de traduire une réalité par une représentation schématique et accessible à la compréhension à travers un prisme de lecture particulier. Ce type de modélisation est bien souvent apparenté au domaine informatique [Ruas, 2004]. En effet, ces derniers ont souvent vocation à contribuer à l'élaboration de systèmes d'informations. Pourtant, la construction de ce type de modèle a pour but, au préalable, de structurer les informations et processus de manière à obtenir une vision claire, organisée et compréhensible d'un système. Le principe est d'établir une liste des entités concernées par le modèle puis de déterminer les relations qu'elles entretiennent.

4.1.6.2 Formalisme NIAM

Outre les exemples d'instruments très théoriques exposés en début de chapitre, il existe des langages permettant la traduction de concepts dans un formalisme de modèles conceptuels. L'utilisation de ce type d'outils sémantiques permet de construire rigoureusement les modèles et d'être compréhensible par d'autres lecteurs familiarisés avec le langage choisi. Il est proposé ici de se référer au formalisme de la méthode Nijssen Information Analysis Method (NIAM). Il existe d'autres formalismes permettant de modéliser de tels processus. C'est le cas de l'Unified Modeling Language (UML) ou de « l'entité/relation » par exemple. Le NIAM a cependant retenu notre attention dans sa typographie épurée. Si les autres formalismes envisagés se sont avérés plus adaptés à des structurations de modélisations informatiques, ils s'avèrent insérer des informations inutiles et « bruyantes » dans la compréhension de ce modèle théorique et méthodologique.

Dans ce travail de modélisation du processus nuisance/gêne, le formalisme NIAM a donc été retenu. Il se base sur une syntaxe plutôt simple. Chaque entité est matérialisée par des ovoïdes. Ces derniers sont ensuite mis en relation par le moyen de segments. Ces liens sont explicités par des rectangles exprimant les relations (par des verbes). Ils sont doublés, de manière à exprimer d'une part la relation d'une entité vers une deuxième et d'autre part de la deuxième vers la première. La figure ci-dessous illustre le mode de construction des schémas conceptuels NIAM (Fig.4.1) [Habrias, 1990] [Morand, 1994].

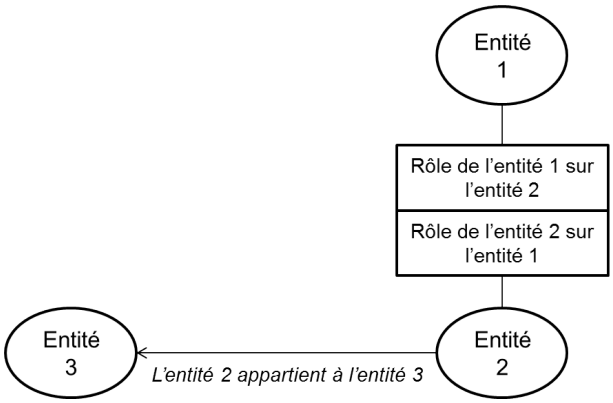


FIG. 4.1 – *Illustration générique du formalisme NIAM*

Ce modèle générique signifie que l'entité 1 joue un rôle sur l'entité 2 et inversement. Par ailleurs, l'entité 2 hérite des propriétés de l'entité 3. La lecture de ce type de graphique peut se faire dans les deux sens.

4.1.7 Application des modèles au processus Nuisances/Gênes

Il s'agit à présent de modéliser l'environnement « avant couverture » par le prisme du processus nuisance/gêne. Pour aborder la démarche, il convient de traduire la définition de la nuisance au moyen de la syntaxe NIAM (Fig.4.2).

La lecture se fait alors simplement : l'agent nuisible occasionne (1) une nuisance. Cette nuisance génère (2) une gêne. Cette gêne est perçue (3) par l'agent sensible. Elle peut également se faire dans l'autre sens : L'agent sensible perçoit (3b) une gêne. Cette gêne est généré par (2b) une nuisance. Cette nuisance est occasionnée (1a) par un agent nuisible.

La modélisation conceptuelle de l'environnement « avant couverture » par le processus nuisance/gêne consiste en la construction d'un graphique de ce type pour chaque couple d'agents identifié. Ainsi, on isole un couple pour déterminer l'ensemble des processus causaux qui le concernent. Ce premier graphique (Fig.4.3) met en exergue cinq processus nuisances/gêne initiés et causés par l'infrastructure de transport et son activité, et perçus par une ou plusieurs populations utilisatrice(s) de l'espace urbain (hors infrastructure). Se retrouvent alors les nuisances dites « environnementales » : bruit, pollution atmosphérique, vibrations, et intrusion visuelle. Celles-ci vont être potentiellement à l'origine d'inconfort, voire de mal-être auprès de certains individus. Ces nuisances sont qualifiées de nuisances « d'inconfort ». La nuisance de coupure apparaît également et décrit un processus plus

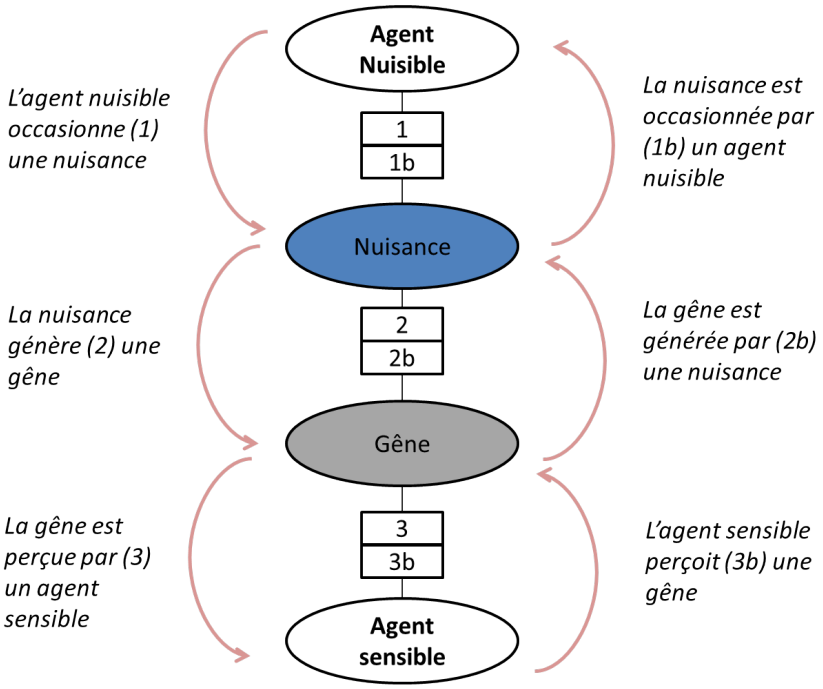


FIG. 4.2 – *Transcription de la définition de nuisance selon le formalisme NIAM*

complexe que les précédents. Elle se réfère ici à une discontinuité de réseaux et occasionne à la fois une altération des déplacements et une réduction de l'accessibilité. Ces deux gênes identifiées peuvent avoir un effet amplificateur l'une sur l'autre. Si la notion de coupure peut également entretenir des relations de causalité avec les nuisances d'inconfort, elle est ici considérée de manière indépendante, ceci afin de bien distinguer les différentes nuisances et de ne pas causer de lacunes en regroupant certaines d'entre elles. Il s'agit d'une nuisance de flux.

Le deuxième couple d'agents fait apparaître un unique processus nuisance/gêne (Fig.4.4). La nuisance, identifiée correspond à une nuisance volontaire de la part de l'espace urbain vis-à-vis des utilisateurs de l'infrastructure de transport. Il s'agit de la mise en place de mesures pour la réduction de la vitesse des usagers de l'infrastructure, s'apparentant alors à une contrainte, ou du moins à une obligation, perçue comme tel. Ces restrictions sont généralement établies pour réduire la nuisance sonore émise par l'activité sur l'infrastructure envers les populations de l'espace urbain (nuisance identifiée au sein du premier couple (Fig.4.3)).

La troisième figure modélise le processus nuisance/gêne entre les couples 3 et 4. Si l'on retrouve les deux entités « espace urbain du dessus » et « infrastructure de transport », les populations n'apparaissent plus (Fig.4.5). Les nuisances représentées ici s'expriment à un niveau différent de celui des diagrammes précédents. Elles ne consistent pas en la production d'un inconfort ou d'un désagrément dans l'activité pour les populations, elles correspondent à l'absence de prise en compte des opportunités de développement urbain. En effet, l'infrastructure de transport, du fait de sa configuration et de son activité, fracture l'espace urbain de manière linéaire et sur un large tronçon. Ainsi, elle cloisonne l'espace, réduit fortement les possibilités de développement urbain et consomme un espace important. Réciproquement, l'espace urbain contraint l'infrastructure à une inertie certaine. L'espace

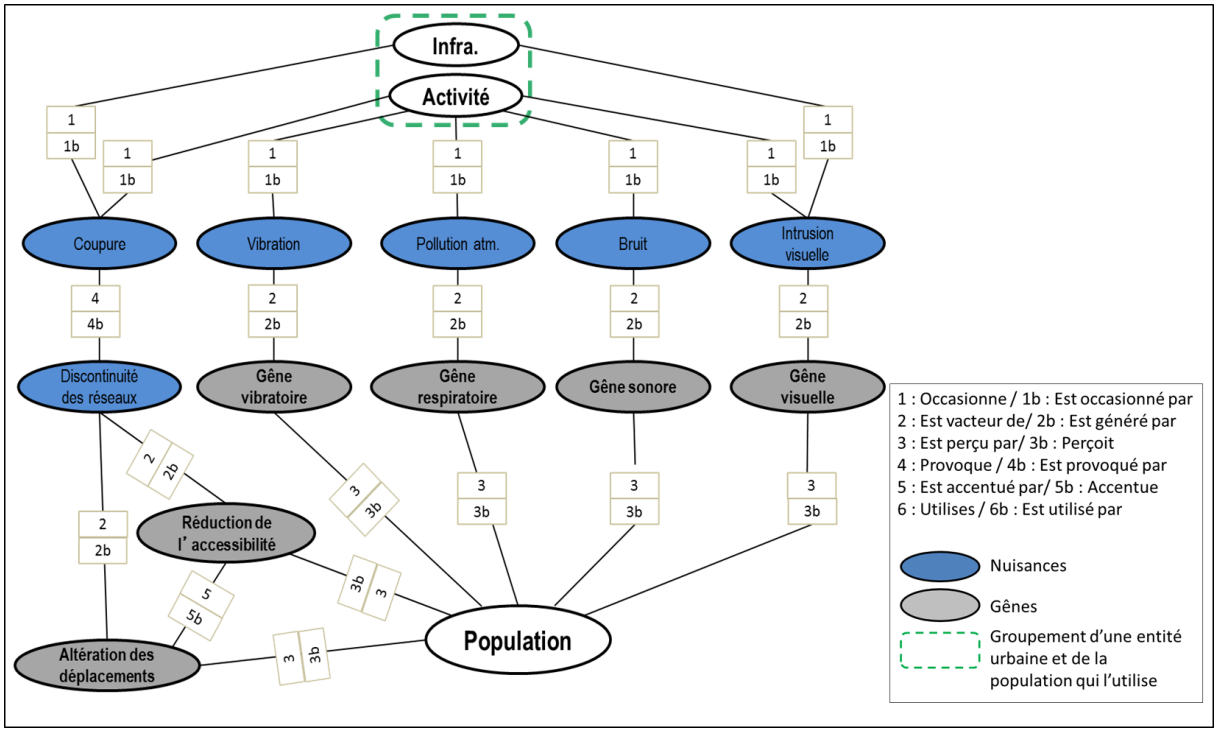


FIG. 4.3 – *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 1*

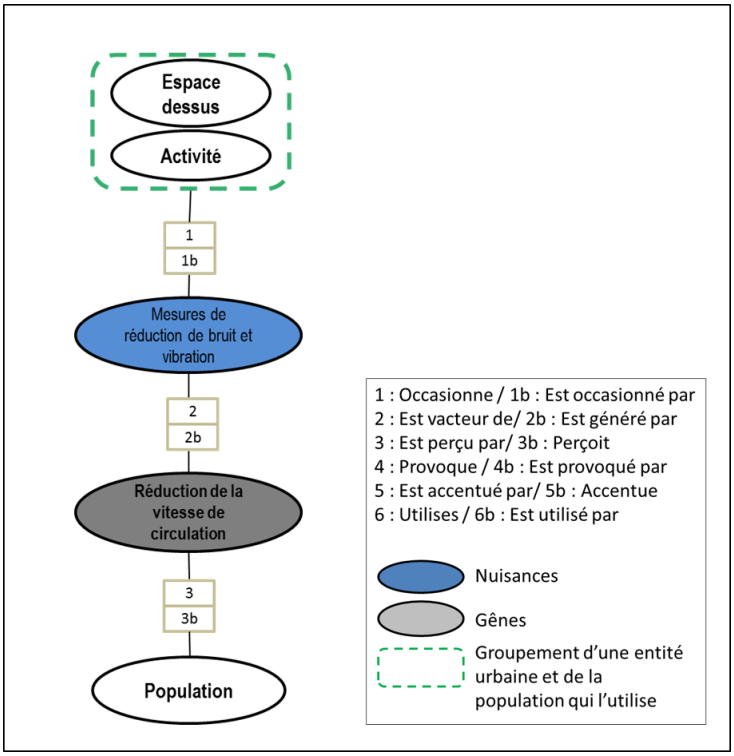


FIG. 4.4 – *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 2*

urbain encadre physiquement l'infrastructure, lui laissant peu de perspectives d'évolution (augmentation des capacités, augmentation du nombre de voies, changement de destination des voies, ...).

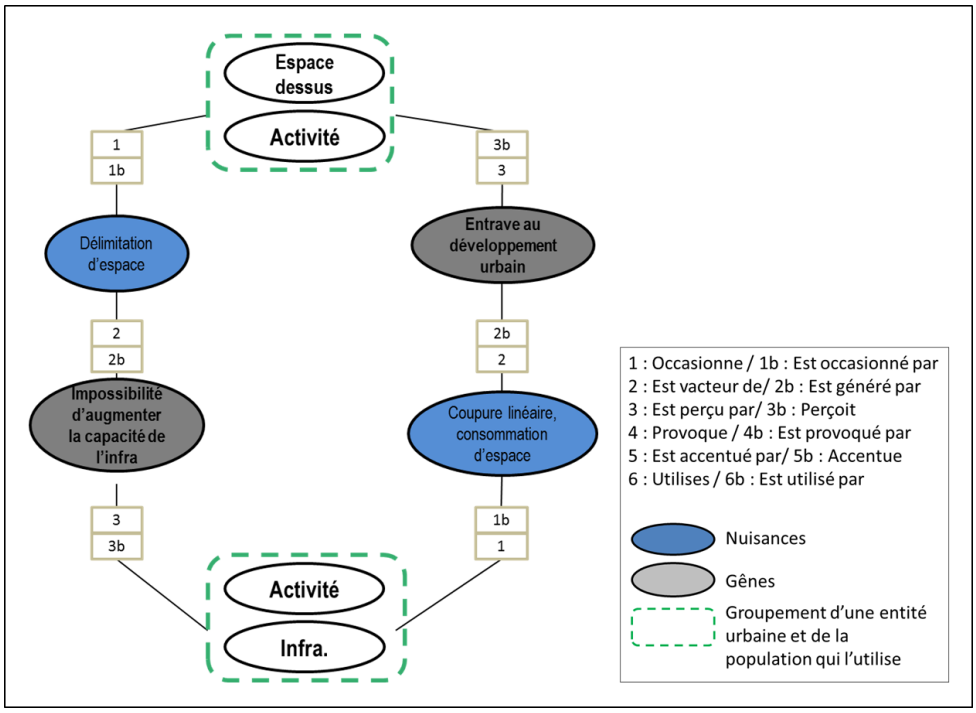


FIG. 4.5 – *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 3*

La synthèse de ces modélisations conceptuelles met en lumière une relation de nuisance réciproque forte entre infrastructure de transport et espace urbain. L'un est agent nuisible de l'autre et inversement. Cette relation bijective suggère un rapport conflictuel entre les deux entités urbaines. Ce conflit émane *a priori* de la cohabitation entre les deux (Fig.4.6). Plus précisément, le conflit concerne l'infrastructure de transport et l'espace urbain environnant.

4.1.8 Couvertures et conflit

Aux vues des résultats de la modélisation conceptuelle d'un environnement sans couverture, impliquant la cohabitation d'une infrastructure de transport et d'un espace urbain, un conflit apparaît. Celui-ci s'exprime à travers les processus nuisances/gênes entre les deux entités. La modélisation conceptuelle expose l'ensemble de nuisances possibles entre les deux. En réalité, chaque conflit sera propre au contexte ; il s'exprime et ne présente pas forcément l'ensemble des processus nuisance/gêne exposé dans ces modèles. Chaque processus complet ou abouti entre deux entités correspond à un élément générateur du conflit. Par processus complet, j'entends que la nuisance et la ou les gêne(s) s'exprime(nt) entre l'infrastructure de transport et l'espace urbain du dessus. Les processus incomplets ne sont, quant à eux, pas considérés comme prenant part au conflit. Dans le cas de l'intrusion visuelle par exemple, il peut y avoir trois cas de figure :

- Premièrement, l'intrusion visuelle ne constitue pas de nuisance. Plus qu'incomplet, le processus est inexistant entre les deux entités urbaines, et n'alimente donc pas le conflit.
- Dans un deuxième cas, la nuisance est effective mais ne constitue pas de gêne pour la population utilisatrice de l'espace urbain du dessus. Le processus nuisance/gêne se trouve encore incomplet dans ce cas puisque la gêne n'existe pas.

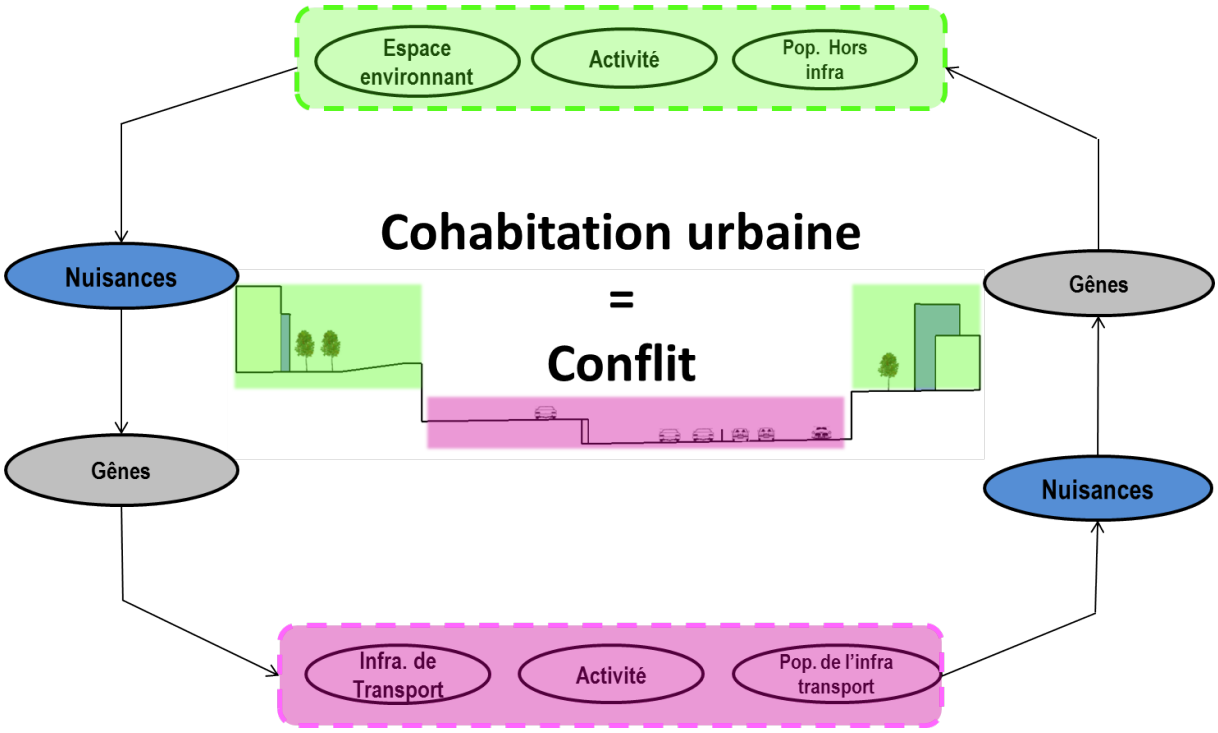


FIG. 4.6 – *Synthèse de modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes*

– Troisièmement, l'intrusion visuelle s'apparente à une pollution visuelle perçue comme une gêne par la population. Ce dernier cas correspond à un processus complet. L'agent nuisible (l'infrastructure de transport), occasionne une nuisance qui constitue une gêne pour l'agent sensible (l'espace du dessus).

Ainsi, pour chaque cas, le conflit se définira par les processus nuisance/gêne complets entre infrastructure et espace urbain. Cette notion de conflit a déjà été évoqué par des auteurs traitant du rapport entre villes et infrastructures. Bernardo Secchi avait notamment pointé dans ces travaux « l'agressivité » dont font preuve les grands linéaires de transports routiers et ferrés vis avis des espaces urbains à l'échelle local [Secchi, 2005]. L'auteur se restreint cependant dans son propos à l'impact de l'infrastructure sur l'espace urbain et non des effets réciproques. Or, le conflit identifié ici résulte bien de la réciprocité de la relation (processus nuisances/gênes) entre les deux entités.

L'étude de la base de données, construite dans le cadre du projet CANOPEE, a permis de constater que des insatisfactions ou nuisances apparaissaient comme les motivations d'un projet de couverture. Aussi, les résultats issus de la modélisation conceptuelle ont abouti à l'identification d'un conflit entre infrastructure et espace urbain, s'exprimant par des processus nuisance/gêne aboutis entre les deux. L'ensemble des insatisfactions évoquées dans la base retrouvent leur équivalent dans les nuisances et gênes modélisées. Ainsi, il paraît judicieux d'émettre l'hypothèse que la couverture puisse être une solution pour la réduction de ce conflit.

L'environnement en question, du fait de son caractère urbain, est animé par la complexité relative aux systèmes urbains. Par ailleurs, cet environnement complexe se trouve dans un état de conflit. La

couverture correspond quant à elle à un ouvrage de génie civil simple, ou non complexe. Pourtant, cet objet technique s'intègre dans cet environnement en modifiant et perturbant l'état de conflit dans lequel il se trouve. La couverture, par action sur le conflit, va hériter de la complexité. Elle ne s'apparente plus à un objet technique isolé mais à un objet technique urbain. Ce type d'hypothèse rejoint la théorie de Gilbert Simondon selon lequel les objets techniques sont des moyens de médiation pour répondre à un conflit entre usages et usagers [Simondon et al., 1989]. Le chercheur s'attache principalement à des objets techniques industriels, cette vision est donc à adapter à notre cas.

4.2 Analyse fonctionnelle : une méthode systémique pour déterminer la finalité du système urbain de couverture et en faire la description fonctionnelle

La modélisation de l'environnement avant couverture à travers le processus nuisance/gêne a permis de mettre en évidence un conflit de cohabitation urbaine entre l'infrastructure de transport et l'espace urbain qu'il traverse. Ce conflit traduit un véritable besoin de ces entités de trouver un état de cohabitation apaisée. La finalité de la couverture est d'apporter une potentielle réponse à ce besoin. La méthode d'analyse fonctionnelle permet de procéder à la détermination de cette finalité.

4.2.1 Analyse fonctionnelle : définitions et principes

4.2.1.1 L'analyse fonctionnelle : une méthode systémique empruntée à l'analyse de la valeur

L'analyse de (la) valeur est une méthode employée dans le domaine de la production, initiée et définie par Larry Miles en 1947 [De la Bretesche, 2000] [Gobin, 2003]. L'Association Française de l'Analyse de la valeur définit cette méthode comme suit : « L'Analyse de la Valeur est une méthode rigoureuse qui, à partir d'une expression formalisée du besoin réel (en utilisant l'Analyse Fonctionnelle par exemple), conduit une équipe pluridisciplinaire (ensemble des experts des domaines concernés) à concevoir des solutions qui répondront de façon optimale (le meilleur compromis) à l'ensemble des besoins recensés (« Le nécessaire et suffisant ») » [AFAV, 2015] Ainsi, elle se base sur l'analyse fonctionnelle pour identifier de manière rigoureuse les besoins du « client », les fonctions et les contraintes du produit vis à vis des milieux extérieurs qui l'entourent. Cette démarche permet a priori d'aboutir à la production du produit optimal vis-à-vis des besoins identifiés. L'analyse fonctionnelle est une étape interne à la démarche d'analyse de la valeur, permettant de comprendre et de représenter le fonctionnement externe et interne d'un système complexe. La Société Canadienne d'Analyse de la Valeur ajoute à ce titre que « Ce qui distingue grandement l'analyse de la valeur de toute autre approche pour répondre aux besoins d'un client ou résoudre ses problèmes, c'est l'analyse fonctionnelle » [SCAV, 2015].

4.2.1.2 Définition de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle fait l'objet de plusieurs définitions dans la littérature scientifique. Voici trois d'entre elles, couramment citées. En 2003, Robert Tassinari écrit que « l'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur ». Il ajoute à cela que « l'analyse fonctionnelle a pour but de recenser toutes les fonctions que doit satisfaire un produit pour répondre à un besoin ». Cette définition formalise les éléments évoqués jusqu'ici pour introduire et justifier l'approche fonctionnelle.

La Société Canadienne de l'Analyse de la Valeur (SCAV) apporte une nouvelle brique à la définition exposée par Robert Tassinari. Elle rapporte que « l'analyse fonctionnelle est un processus qui décrit les fonctions d'un produit (ou d'un processus) puis établit leur relations, caractérisation, classification et évaluation ». La SCAV intègre ainsi la notion de relation et d'organisation des fonctions entre elles [SCAV, 2015]. Ce travail de structuration est indispensable pour la construction d'un modèle intelligible et exploitable. L'Agence Française de Normalisation (AFNOR) introduit également ce principe. Elle définit ainsi l'analyse fonctionnelle comme étant « une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions » [Tassinari, 2003].

Nous retiendrons que l'analyse fonctionnelle est un processus systémique visant à rechercher, organiser (ordonner, caractériser, hiérarchiser) et évaluer les fonctions d'un système au sein de son environnement. Ces fonctions doivent se positionner en réponse à la finalité du système, préalablement identifiée [Tassinari, 2003] [De la Bretesche, 2000].

En pratique, la méthode interprète un système ou un processus par un ensemble de fonctions structurées, répondant à un même but. Elle en modélise son organisation (il s'agit souvent d'un haut niveau d'organisation) et la rend intelligible et exploitable. L'un des principes de l'analyse fonctionnelle est de travailler en termes de finalité et non en termes de moyens. Procéder de cette manière entre dans une logique d'optimisation prônée par les utilisateurs et concepteurs d'outils d'analyse fonctionnelle. En effet, si de nombreuses structures opérationnelles optent pour un inventaire des moyens disponibles afin d'envisager ce qu'il est possible de faire, les raisonnements scientifiques s'amorcent par le besoin de façon à répondre aux objectifs de manière réellement efficace.

Les intérêts de la méthode sont multiples. Elle présente l'avantage notamment de s'adapter à n'importe quel type de problème [Allaire, 2012]. Par ailleurs, elle permet de réunir un ensemble d'utilisateurs de divers horizons autour d'un même problème. En effet, l'analyse fonctionnelle conduit à la construction d'un cadre méthodologique dans un langage commun au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire.

4.2.1.3 Processus d'analyse fonctionnelle

La méthode d'analyse fonctionnelle propose un processus rigoureux permettant de déterminer le fonctionnement d'un système dans son intégralité. Ce fonctionnement s'articule autour de la finalité puisque chaque mécanisme contribue à son accomplissement. Le processus d'analyse fonctionnelle se

décompose en quatre étapes [Peyras, 2002] :

- 1- Définition du « système » ou de l'objet d'étude : cerner les limites du système, décrire son environnement, et décomposer sa structure.

- 2- Détermination du besoin : déterminer le rôle du système dans son environnement, et sa raison d'être.

- 3- Analyse fonctionnelle externe : définir les interactions entre le système global et les différents composants de son environnement. Ces interactions matérialisent les fonctions que remplit le système. Plus concrètement il s'agit de comprendre et de modéliser le fonctionnement du système dans son environnement (et de l'environnement avec ce système).

- 4- Analyse fonctionnelle interne : appréhender par le biais de l'analyse fonctionnelle interne l'étude structurelle du système.

La première étape s'apparente en fait à la description structurale du système. Cette étape a déjà fait l'objet d'une attention particulière et d'un aboutissement du chapitre 3 (section 3.3 à partir de la page 72) de ce mémoire de thèse. La seconde étape consiste à se positionner vis-à-vis d'un besoin exprimé et d'en déduire la finalité d'un objet pour répondre à ce besoin. Dans notre cas un besoin a été pressenti dans l'amorce de la description fonctionnelle de notre système : résoudre le conflit de cohabitation urbaine entre infrastructure de transport et espace urbain environnant. Il s'agit donc pour nous de déterminer la finalité du système et d'apprécier la cohérence avec le besoin exprimé. Le deux étapes suivantes constituent le cœur de l'analyse fonctionnelle. Elles consistent en la recherche des fonctions d'un objet ou système et la modélisation globale de son fonctionnement (externe et interne).

4.2.2 Les méthodes d'analyse fonctionnelle

Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont nombreuses. Elles se différencient par leur domaine d'application, leur mode d'exploitation, et leurs objectifs. Dans son travail de recherche, et en s'appuyant sur le guide de l'analyse fonctionnelle de la sureté de fonctionnement (ISdF, projet N°1/91, 1991) [Allaire, 2012], Didier Allaire propose de se référer à une grille de comparaison des différentes méthodes d'analyse fonctionnelle afin de choisir la démarche correspondant le plus au besoin de l'étude menée. Ce tableau permet de confronter les différentes méthodes d'analyse fonctionnelle [1] en fonction de leur portée applicative et de leur accessibilité (Tab.4.4). Ce tableau montre les sept critères qui importent dans cette recherche (lignes surlignées).

Le système urbain de couverture s'apparente à un système complexe. Le système sur lequel porte notre étude est résolument complexe. Il est donc impératif de se positionner sur une méthode intégrant parfaitement cette complexité. Cette exigence élimine les méthodes FAST, MERISE et GRAFCET. La Méthode FAST s'attache plus particulièrement à l'analyse fonctionnelle des systèmes

1. Il existe d'autres méthodes, cependant ce tableau recense les sept plus courantes [Allaire, 2012].

techniques, MERISE convient plutôt aux projets informatiques, enfin, la méthode GRAFCET s'applique principalement à des systèmes automatisés [Tassinari, 2003].

Si l'ensemble des méthodes présentées ici s'attachent à mener une analyse fonctionnelle interne, elles n'intègrent pas toute l'étape d'analyse fonctionnelle externe, et de fait la prise en compte de milieux ou composants extérieurs. Dans ce travail de recherche, cet aspect est clairement primordial. La couverture s'inscrit dans un un système urbain, qui prend lui même part à un méta système territorial. Il est donc impossible de travailler uniquement sur des mécanismes internes au sein d'un système fermé sans faire cas des interactions avec l'extérieur. Dans le cas des objets ou systèmes urbains, les relations externes sont structurantes et déterminantes de leur fonctionnement. Ainsi, la méthode SADT est également écartée de notre cadre méthodologique.

En termes d'accessibilité, la méthode et les résultats qui en ressortent doivent être fortement compréhensibles. La pluralité des acteurs et des compétences au cœur des projets urbains, et notamment ici de projets de couverture, nécessite de travailler dans un langage commun que chacun doit pouvoir s'approprier. La méthode SART ne peut être retenue du fait des difficultés d'appréhension, de compréhension et d'appropriation dont elle fait l'objet. Cette méthode correspond à une évolution de SADT permettant plus précisément une « spécification dynamique de logiciels ». Sa difficulté s'explique notamment par le niveau d'élaboration de la syntaxe graphique utilisée pour sa mise en œuvre [Cottet and Grolleau, 2005].

TAB. 4.4 – *Grille de comparaison des méthodes d'analyse fonctionnelle adapté de [Allaire, 2012]*

	Méthodes d'analyse fonctionnelle						
domaine d'application	APTE	RELIASEP	FAST	SADT	SA/RT	GRAFCET	MERISE
système complexe	+	+	+/-	+	+	+/-	+/-
système de production	+	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
système d'information	+	-	+/-	+	+	+/-	+
système matériel	+	+	+	-	-	+/-	-
interface homme/machine	+/-	-	+/-	+/-	+	-	+/-
automatisme	+/-	+	+/-	+/-	+	+	-
organisation	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-	+
AF Externe	AFE	AFE	.	.	AFE	.	.
AF Interne	AFI	AFI	AFI	AFI	AFI	AFI	AFI
Milieux environnants	ME	ME	.	.	ME	.	.
Evènements	.	E	E	E	E	E	.
Invariants	.	.	.	.	.	.	I
Accessibilité	**APTE**	**RELIASEP**	**FAST**	**SADT**	**SA/RT**	**GRAFCET**	**MERISE**
Facilité d'apprentissage	+	+	+	+/-	-	+/-	-
Facilité d'utilisation	+	+	+	+/-	+	+	-
Logiciel d'application	+/-	+	-	+	+	+	+
Compréhension des résultats	+	+	+	+/-	-	+/-	+/-
Intégration autres études	+/-	+	+/-	+/-	+/-	-	-

En procédant par élimination, deux méthodes d'analyse fonctionnelle ressortent. Il s'agit des méthodes APTE et RELIASEP. Toutes deux répondent et correspondent aux critères méthodologiques considérés dans ce travail. La méthode RELIASEP est très fortement orientée vers l'application de mé-

thode de sûreté de fonctionnement et d'analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDE). Robert Tassinari énonce, dans son recueil des différentes méthodes d'analyse fonctionnelle, que ce positionnement constitue l'objectif principal de la méthode [Tassinari, 2003]. La méthode APTE s'attache quant à elle à la modélisation fonctionnelle pour l'optimisation d'un système vis-à-vis d'un besoin exprimé [De la Bretesche, 2000].

L'ensemble des critères exposés dans ce tableau permet de se positionner sur la méthode la plus adaptée *a priori* au travail engagé dans le cadre de cette recherche. Il apparait que la méthode APTE réunit l'intégralité des caractéristiques et propriétés recherchées. Elle permet une application à des systèmes complexes. La complexité du système urbain de couverture étant démontrée (cf. section 3.1 du chapitre 3, page 66), il est donc indispensable d'adopter une méthode adaptée à cet effet. La description structurale du système urbain de couverture a mis en avant une relation forte entre l'ouvrage de génie civil et l'environnement urbain dans lequel il s'intègre. Il est donc primordial que la méthode choisie soit en mesure de mettre en relation un objet avec les composants de son milieu environnant et de proposer des moyens de mener une analyse aussi bien interne qu'externe. L'application de l'analyse fonctionnelle a pour but de modéliser le fonctionnement du système afin de l'évaluer et de proposer une méthode exploitable par et pour les acteurs concernés par des projets de couverture. Aussi, la méthode APTE fait preuve d'une accessibilité à la compréhension et à la lecture des résultats, ce qui lui confère une qualité non négligeable dans l'optique d'une application opérationnelle. Finalement, la méthode APTE semble convenir au mieux à l'application au système urbain de couverture. Par ailleurs, cette méthode a fait l'objet de plusieurs applications en génie urbain et a été approuvée et éprouvée entre autre dans les travaux de recherche de Didier Allaire, Hélène Béraud et Marc Vuillet [Allaire, 2012], [Béraud, 2013], [Vuillet, 2012]. Il nous a donc paru judicieux et favorable de se tourner vers celle-ci. La problématique qui conduit ce travail de thèse étant de surcroit très différent de ces dernières, il parait intéressant d'y tester la méthode.

4.2.3 La méthode APTE : Définition générique

Développée dans les années 60 par le cabinet APTE, la méthode APTE a pour objectif d'augmenter l'efficacité d'un processus et d'en réduire les coûts [De la Bretesche, 2000]. Elle permet notamment de déterminer le besoin réel, qui justifie le processus ou le produit, de manière à écarter tout ce qui peut être superflu. Elle permet ensuite d'en décortiquer les actions et propose des outils d'exploitation en vue de son optimisation. Par ailleurs, elle permet d'intégrer les contraintes à l'analyse [Sadaoui, 2013].

L'application de la méthode était initialement destinée aux entreprises et industries désireuses de réduire leurs coûts et d'optimiser leur production. Mais, du fait de son mécanisme et des principes de finalité et de fonctionnement qu'elle propose, sa portée a évolué. En effet, aujourd'hui, la méthode APTE est approuvée et éprouvée dans de très nombreux travaux de recherche, ayant recours à la systémique. Par ailleurs, cette méthode présente un intérêt certain en termes de simplicité d'exécution et d'intelligibilité.

4.3 Application de l'analyse fonctionnelle au système urbain de couverture : Recherche de la finalité

L'application de l'analyse fonctionnelle constitue, dans un premier temps, la description fonctionnelle du système, qui vient compléter la description structurale précédemment exposée. Dans un second temps, cette méthode doit aboutir à la modélisation conceptuelle globale du fonctionnement du système couverture.

La recherche de la finalité passe, dans le cadre du l'utilisation de la méthode APTE, par l'application de l'outil graphique « Bête à Cornes ». Celui-ci consiste à soumettre l'objet ou le système à une série de questionnements ciblés et ordonnés de manière à en déduire sa finalité. La couverture, en tant qu'ouvrage de génie civil, étant désignée dans le chapitre précédent comme le noyau dur du système, elle se positionne au centre de la démarche et donc en « Entrée 1 » du graphique (Fig.4.7).

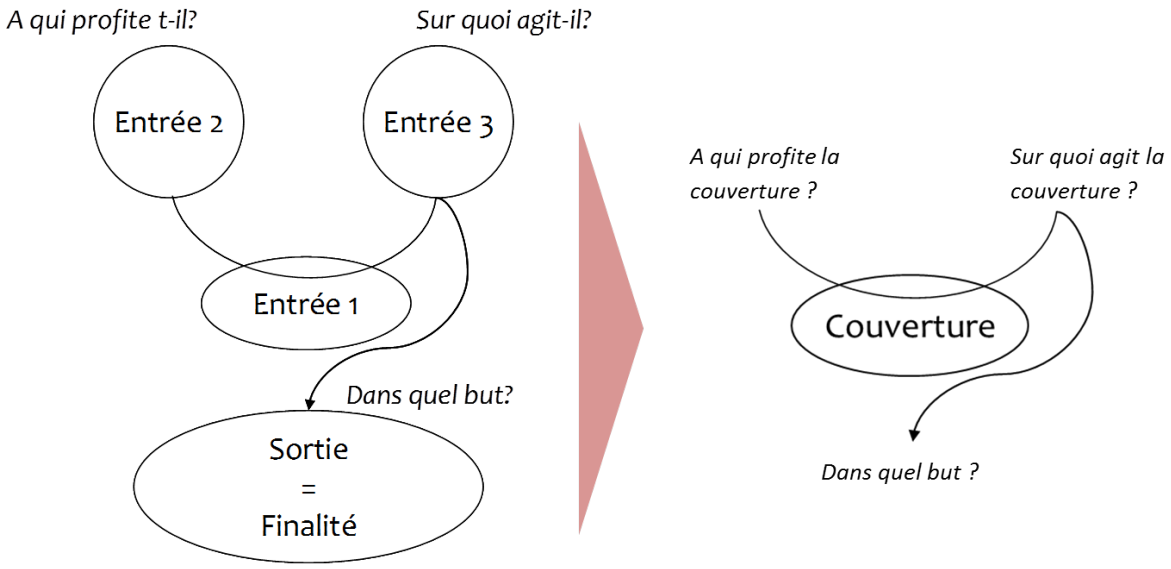


FIG. 4.7 – *Construction méthodologique de la Bête à Cornes*

Une fois cette première entrée renseignée, elle peut être interrogée, conformément à la méthode. Les réponses aux questionnements « A qui profite la couverture ? » et « Sur quoi agit la couverture ? » vont alimenter les deux autres entrées du graphique (entrées 2 et 3). En sortie du modèle, et en réponse à la question « Dans quel but ? » est attendue la finalité de la couverture.

4.3.1 A qui profite la couverture ?

Les populations sont extrêmement concernées par les diverses pollutions et autres nuisances issues de l'infrastructure de transport. Ces nuisances, et les gênes qu'elles génèrent, sont l'expression du conflit identifié entre infrastructure de transport et espace urbain. La couverture constituant une réponse possible à ce conflit et donc à ces nuisances, agit *a priori* dans l'intérêt des populations. Dans le cas du bruit par exemple, si l'action de la couverture conduit à la réduction ou la suppression de la gêne sonore, les populations profitent effectivement de cette action dans le sens où elles bénéficient de cette atténuation. Par ailleurs, la couverture s'intègre dans une opération plus large (périmètre du

projet urbain) qui profite également aux populations. Si l'opération d'aménagement prévoit une voie de transport par exemple, reliant les deux rives de l'espace urbain et passant par la couverture, la population profite de cette nouvelle traversée. Dans ce cas, la couverture agit vis-à-vis de la nuisance de coupure.

La couverture profite également à l'espace urbain lui-même. La couverture peut agir, par exemple, comme support pour créer du foncier pour le développement urbain. Là encore, il s'agit de traiter des nuisances, expression du conflit de cohabitation entre infrastructure et espace urbain « du dessus ». La couverture peut également faire l'objet d'un profit politique pour des acteurs territoriaux notamment. Le travail mené ici s'appuie sur une réflexion purement fonctionnelle. Les aspects politiques ne sont donc pas considérés dans cette modélisation.

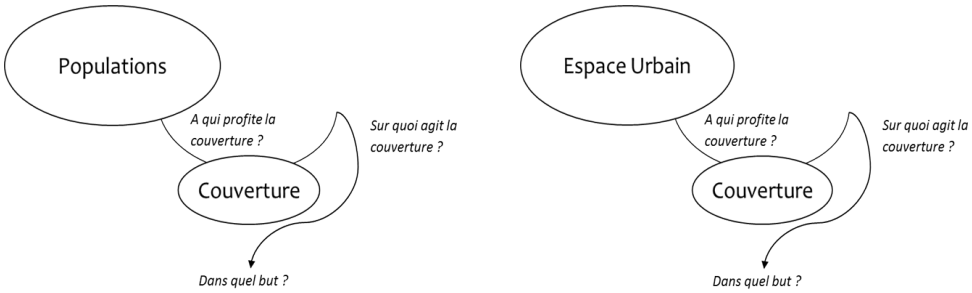


FIG. 4.8 – *Questionnement : A qui profite la couverture ?*

Les populations et l'espace urbain font partie intégrante d'un même système. Les populations regroupent l'ensemble des individus évoluant, de quelques manières que ce soit, dans l'espace urbain. La couverture profite à un système urbain, correspondant à l'environnement dans lequel elle s'intègre.

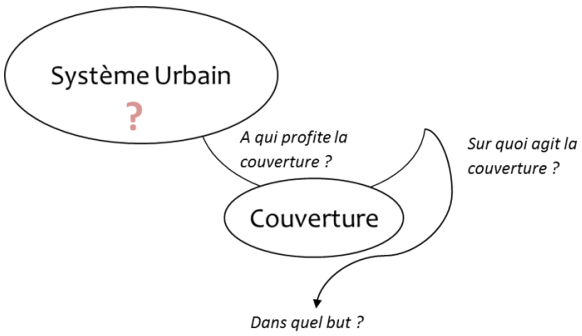


FIG. 4.9 – *Questionnement : A qui profite la couverture ? - 2*

Ce système est également modélisé sur le principe de la Bête à Cornes, de manière à comprendre l'ensemble du processus fonctionnel en œuvre autour de la couverture. L'environnement, dont il est question, se définit comme regroupant l'espace urbain et les différentes populations qui en font l'usage, sur un territoire géographique. Les populations profitent de l'espace urbain par l'usage, et profitent de la couverture par l'usage de l'espace urbain. Par exemple, un individu de la population dite mobile profite des réseaux de déplacements composant l'espace mobile ; par ailleurs, si une couverture

permet l'amélioration d'un ou plusieurs de ces réseaux, l'espace urbain profite de ce développement et la population de l'usage de ce développement. Cette logique est ainsi traduite dans la méthode APTE (Fig.4.10).

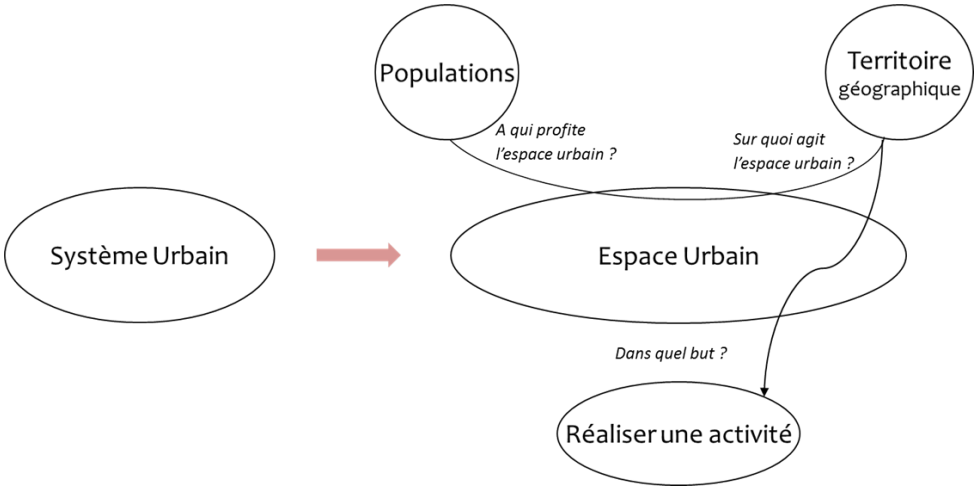


FIG. 4.10 – *Bête à Cornes appliquée à l'espace urbain*

Le graphique de modélisation de la couverture prend ainsi la forme d'une double BAC emboîtée. La couverture profite à l'espace urbain, qui profite lui-même aux populations.

4.3.2 Sur quoi agit la couverture ?

Le système dans lequel s'intègre la couverture, à savoir l'environnement, est porteur d'un vif conflit. Celui-ci est dû au processus bijectif nuisance/gêne effectif au sein de l'environnement, entre les entités « Infrastructures de transport » et « Espace urbain du dessus ». Les populations utilisatrices de ces deux entités sont également concernées par ce processus. La couverture, intervenant comme une réponse possible à ce conflit, agit logiquement sur les nuisances, ou plus précisément sur le processus nuisance/gêne.

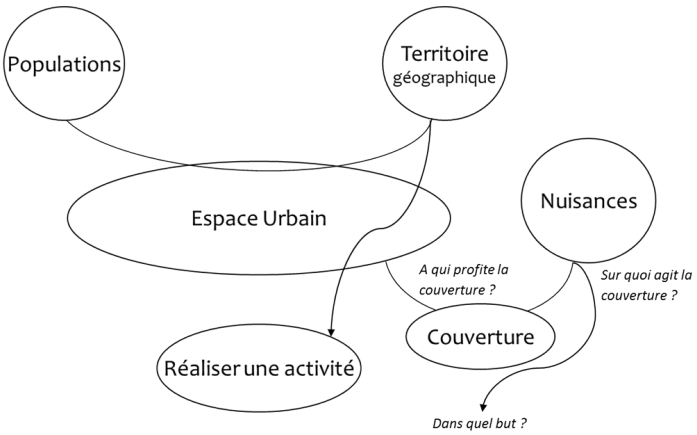


FIG. 4.11 – *Questionnement : Sur quoi agit la couverture ?*

4.3.3 Quelle finalité de la couverture ?

4.3.3.1 Résoudre le conflit de cohabitation par la conciliation

Gilbert Simondon introduisait la notion de « médiation », en considérant un « objet technique » comme outil de médiation entre une population utilisatrice d'un environnement et celui-ci [Simondon et al., 1989]. Outre ce concept de médiation pour aborder et donner des éléments de réponse au conflit, il est également probant de se rapprocher de la notion d'action de conciliation urbaine, à l'image des pratiques sociales instaurées dans certains cas de discorde entre deux individus. La conciliation est entendue ici comme un mode d'action permettant de régler des conflits. La conciliation urbaine opèrerait sur ce principe sur des entités urbaines. Elle aurait pour but de rétablir une coexistence harmonieuse et plus ou moins communicante (établissement de relations fonctionnelles) entre elles, et de résoudre les conflits identifiés.

Afin de limiter les restrictions de sens et de compréhension, la notion de service ici ne renvoie pas aux « services urbains » tels qu'ils sont considérés habituellement : service de gestion des déchets, d'eau, d'assainissement, de transport et d'énergie. Il s'agit plus généralement d'un « Ensemble organisé d'activités destinées à remplir le besoin. » [Allaire, 2012]. Il permet ainsi de regrouper et d'intégrer l'ensemble des disciplines concernées par ces problématiques et projets dans cette action de conciliation urbaine.

4.3.3.2 Résultat de l'application de la méthode

Répondre à cette question revient à mener l'application de la bête à cornes sur le système « couverture ». La « population » et l' « espace urbain » sont intégrés comme données d'entrées pour la configuration. La couverture s'intègre dans son environnement en réponse à un besoin exprimé par celui-ci. L'environnement, considéré comme un espace urbain sur un territoire géographique, accueillant les activités de populations, est soumis à un conflit important. Ce dernier s'exprime localement par un processus nuisance/gêne bijectif induit par la cohabitation entre deux entités urbaines : un espace urbain et une grande infrastructure de transport qui la traverse. Cette cohabitation conflictuelle est à l'origine du besoin. Afin d'optimiser et d'améliorer l'environnement et son fonctionnement, il est nécessaire de résoudre ou au moins de réduire ce conflit. C'est dans ce sens que s'impose la couverture. En effet, elle intervient comme une réponse possible au problème.

La finalité de la couverture correspond à son but, sa raison d'être. La résolution du conflit est extrêmement complexe ; et même si la réponse de génie civil parait aisée, l'action de génie urbain dispose quant à elle d'un degré de complexité important. De manière à être assez ouvert tout en répondant très justement au besoin exprimé, la finalité proposée est la suivante : Créer un service de conciliation urbaine.

Ce résultat permet de compléter la définition du système urbain de couverture (Tab. 4.5 et Tab.4.6). Celui-ci se définit comme n'importe quel système urbain autrement dit, il se compose d'un espace urbain permettant à des populations d'exercer une ou plusieurs activités. Cependant,

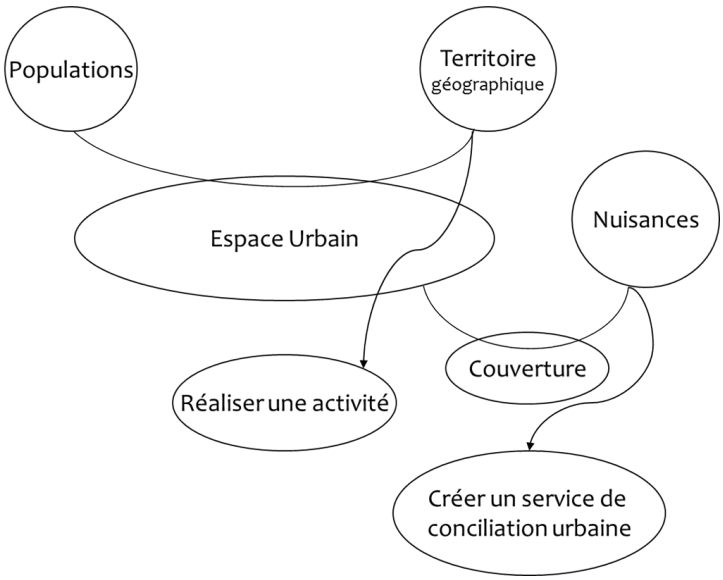


FIG. 4.12 – *Résultat de la Bête à Cornes appliquée à la couverture*

l'accomplissement de sa finalité se voit altéré par l'apparition d'un conflit émergeant de la cohabitation entre un espace urbain et une infrastructure de transport. L'ouvrage de couverture agit vis à vis de ce conflit de manière à permettre au système urbain de s'accomplir dans les meilleures conditions (sans altérations dues au conflit). Pour cela, il crée un service de conciliation urbaine. Cette finalité identifiée correspond de même au niveau d'accomplissement de la couverture dans son système, ce pourquoi elle existe.

TAB. 4.5 – *Grille d'interprétation de l'objet technique couverture actualisée*

Quelque chose	L'objet technique couverture
Dans quelque chose	Le système urbain de couverture
Pour quelque chose	Créer un service de conciliation urbaine
Fait quelque chose	? (son fonctionnement)
Par quelque chose	Un ouvrage de génie civil
Qui se transforme dans le temps	Pérenne dans le temps

Afin de mener à bien cette description systémique fonctionnelle, il convient de déterminer comment fonctionne la couverture au sein de son système urbain. Autrement dit, il s'agit de déterminer, de formaliser et d'analyser l'ensemble des différents mécanismes mis en œuvre par la couverture pour aboutir à la réalisation de sa finalité.

TAB. 4.6 – *Grille d'interprétation du système urbain de couverture actualisée*

Quelque chose	Le système urbain de couverture
Dans quelque chose	Un milieu urbain (méta système à plus grande échelle)
Pour quelque chose	Permet aux populations d'exercer une activité
Fait quelque chose	? (son fonctionnement)
Par quelque chose	Un espace urbain et les populations qui en font l'usage
Qui se transforme dans le temps	En constante évolution (au rythme des différentes dynamiques urbaines)

En conclusion ...

Les projets de couvertures sont motivés par diverses nuisances et gênes émanant de la cohabitation entre de grandes infrastructures de transports routières ou ferroviaires. Elles se traduisent par le bruit, la coupure ou encore l'incapacité d'exploiter plus densément l'emprise des voiries par exemple. Ce constat a pu être mis en exergue par le biais d'une modélisation conceptuelle des processus nuisance/gêne entre les deux entités « infrastructure » et « espace urbain » traversé. Il apparaît que ces deux entités sont la source de nuisances et gênes réciproques.

Les projets de couverture semblent de fait apporter une réponse à ce conflit. L'application de la méthode d'analyse fonctionnelle, a permis de comprendre comment la couverture se positionne dans son système. La couverture a pour finalité de créer un service de conciliation urbaine et agissant sur les nuisances et donc sur le conflit effectif entre infrastructure de transport et espace urbain traversé. Elle permet de fait au système urbain (espace urbain + population) de fonctionner et de remplir lui-même sa finalité. Plus précisément, la couverture profite à l'espace urbain de manière à ce qu'il puisse permettre aux populations d'exercer une activité sur un territoire géographique.

Il s'agit donc à présent d'identifier et de saisir quels mécanismes fonctionnels sont mis en œuvre pour aboutir à cette finalité. Il s'agit donc de procéder à la suite de la description fonctionnelle du système urbain de couverture afin d'obtenir un modèle exploitable pour l'évaluation des couvertures au sein de leur environnement urbain.

CHAPITRE 5

Analyse fonctionnelle du système urbain de couverture : détermination des fonctions de la couverture dans son système

La modélisation conceptuelle du processus nuisance/gêne entre l'infrastructure de transport et l'espace urbain traversé, combinée à l'application d'un outil de l'analyse fonctionnelle sur la couverture dans son système a permis d'établir la finalité de cette dernière. La couverture a pour objectif de créer un service de conciliation urbaine en agissant sur les nuisances, afin de permettre à son système de mieux fonctionner. Cette finalité constitue la ligne directrice du fonctionnement. C'est pour arriver à cette fin que l'objet fonctionne, qu'il met en place ses différents mécanismes.

Ce chapitre s'attache justement à la détermination précise de ce fonctionnement. Pour cela, une possibilité est de poursuivre l'application de la méthode d'analyse fonctionnelle, et plus précisément de s'affairer à l'étape d'analyse fonctionnelle externe. Cela consiste à déterminer l'ensemble des interactions qu'entretient la couverture avec les éléments composants son environnement, autrement dit le système urbain de couverture. Ces interactions sont assimilées à des fonctions de la couverture. L'identification de ces fonctions a pour objectif de mener à bien la description fonctionnelle du système et aboutir à la définition d'un modèle fonctionnel structuré du système urbain de couverture.

L'élaboration de ce modèle permet une évaluation qualitative de la couverture dans son système. Les résultats obtenus pourront être complétés par une phase d'évaluation quantitative, basée sur la mise en place de critères et d'indicateurs appropriés.

5.1 Le système urbain de couverture fonctionne pour créer un service de conciliation urbaine

5.1.1 Le fonctionnement du système guidé par sa finalité

Le chapitre précédent a permis de déterminer la finalité de la couverture au sein de son système urbain. La couverture a pour objectif de créer un service de conciliation urbaine. Pour cela, elle agit sur les nuisances (ou plus précisément sur le processus nuisances/gêne) ; expression du conflit de cohabitation locale entre infrastructure de transport et espace urbain traversé. Cette finalité de la couverture permet à l'espace urbain de réaliser sa propre finalité, à savoir : permettre à la population d'exercer une activité sur un territoire géographique. La couverture permet donc au système urbain (espace urbain + population) de fonctionner au mieux (diminution du conflit). Cette finalité constitue la fonction générale à laquelle doit répondre la couverture. L'ensemble des actions et processus qui sont accomplis par la couverture participent à l'aboutissement de cette finalité.

De manière générale, chaque objet ou système se caractérise par une finalité qui conditionne son existence. Ainsi, chacune des actions conduites par l'objet participe à l'accomplissement de cette finalité. Ces actions ne contribuent pas forcément de la même façon, n'ont pas forcément la même importance, n'opèrent pas au même niveau mais se mobilisent ensemble dans un but commun. Chacune d'elles constitue un maillon du processus finalisé. Cette finalité doit donc servir de ligne de conduite générale du fonctionnement. De fait, toute action de l'objet qui n'irait pas dans ce sens peut être qualifiée de superflue. Bertrand de la Bretesche introduit la notion de « juste nécessaire » [De la Bretesche, 2000]. Il précise que « Quand dans une solution, il y a des manques de Juste Nécessaire, elle ne rend pas le service attendu. ». Ainsi, lorsqu'une action identifiée comme partie prenante du fonctionnement d'un objet ne participe pas à l'aboutissement de la finalité exprimée, c'est qu'elle répond à un autre besoin.

5.1.2 L'analyse fonctionnelle (externe) pour définir ce fonctionnement

5.1.2.1 L'analyse fonctionnelle interne et externe

L'analyse fonctionnelle offre les outils appropriés pour modéliser précisément le fonctionnement de systèmes ou d'objets particuliers. Elle propose à cet effet deux phases d'analyse : l'analyse fonctionnelle interne et l'analyse fonctionnelle externe.

L'analyse fonctionnelle externe s'appuie sur la mise en interaction de l'objet avec les composants de son environnement pour décrire et modéliser son fonctionnement [Peyras, 2002]. Chaque relation effective entre l'objet et un ou deux composants de son environnement s'apparente à un maillon du fonctionnement global. L'objet étudié est alors considéré comme une boîte noire, sa structure interne n'est pas prise en compte dans cette étape. L'objectif de l'analyse fonctionnelle externe consiste donc à une identification exhaustive et à la modélisation de l'ensemble des fonctions décrites par l'objet de manière à saisir son fonctionnement.

L'analyse fonctionnelle interne consiste, quant à elle, en l'étude structurelle interne de l'objet d'étude. Du point de vue fonctionnel, cette étape doit identifier le rôle des éléments composant l'objet pour l'accomplissement des fonctions identifiées et de mettre en lumière les relations structurelles entre ceux-ci [Béraud, 2013] et [Peyras, 2002]. Il s'agit donc, lors de cette phase d'analyse, de comprendre l'organisation interne de la « boîte noire » évoquée précédemment.

Le choix se porte ici sur l'application de l'analyse fonctionnelle externe de la couverture en tant qu'ouvrage, au sein de son système urbain (de son environnement).

5.1.2.2 La méthode APTE : le diagramme pieuvre

L'outil proposé par la méthode APTE pour mener l'analyse fonctionnelle externe de la couverture au sein de son système urbain est le diagramme pieuvre. Il s'agit d'un outil graphique permettant de mettre en évidence les relations qui existent entre l'objet d'étude et les composants de l'environnement dans lequel il s'intègre. Il s'agit pour cela de modéliser ces composants autour de l'objet et de s'interroger sur l'existence d'interactions. Le principe consiste tout d'abord à positionner l'objet, concerné par l'analyse fonctionnelle externe, au centre du graphique. Les différents éléments composants son environnement sont ensuite disposés autour de lui. Il s'agit alors de comprendre comment des éléments entrent en interaction avec l'objet soumis à l'analyse (Fig.5.1).

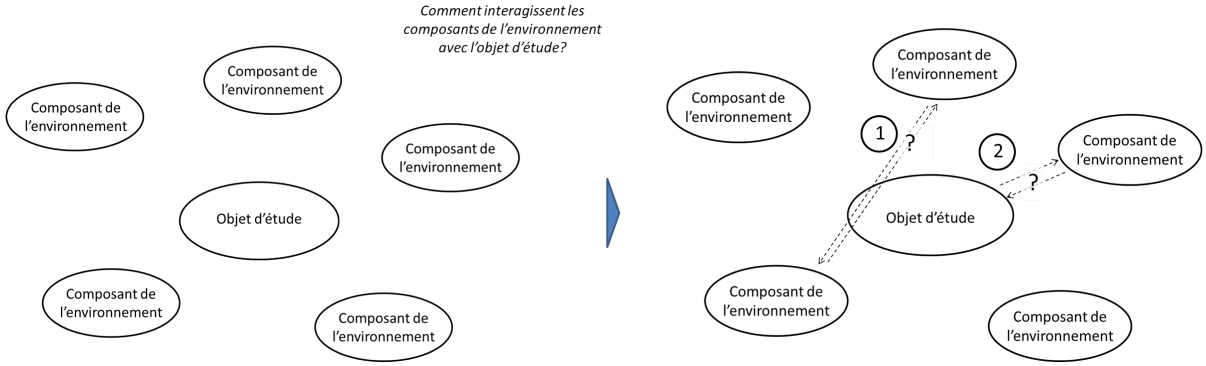


FIG. 5.1 – *Diagramme pieuvre*

Deux types de relation sont possibles. La première correspond à l'interaction entre deux composants de l'environnement de l'objet par le biais de l'objet lui-même (Fig.5.1 - 1). La seconde correspond aux relations directes entre l'objet et un composant de l'environnement (Fig.5.1 - 2). Ainsi, l'ensemble des interactions identifiées traduisent et modélisent le fonctionnement de l'objet, et chacune des relations, quel que soit son type.

5.1.3 La fonction au cœur du mécanisme interactif du système

Le terme de fonction peut prendre de nombreux sens selon le contexte dans lequel il est employé, selon le locuteur qui l'emploie, les interlocuteurs qui l'entendent et l'interprètent, etc. L'approche choisie s'appuie sur la recherche et l'étude d'interactions entre les éléments d'un système. Ces interactions correspondent aux fonctions qu'un objet particulier, ici la couverture, entretient avec les

composants du système dans lequel il s'intègre. Autrement dit, ces fonctions constituent le cœur même du mécanisme interactif que l'on cherche à déterminer dans le cadre de la description fonctionnelle de système urbain de couverture. Il parait donc primordial de définir ce qui est entendu ici par fonction. Selon la norme NF X50-150 de l'AFNOR, les fonctions sont les « actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimées exclusivement en terme de finalité » [Tassinari, 2003]. Cette définition de la fonction sera adoptée dans la suite de ce travail.

L'application du diagramme pieuvre de la méthode APTE révèle deux types d'interactions possibles : les fonctions principales (relation 1 sur la figure a. Fig.5.2) et les fonctions de contrainte (relation 2 sur la figure b. Fig5.2). Les fonctions principales correspondent aux interactions entre deux composants de l'environnement par l'intermédiaire de l'objet étudié. Les fonctions de contraintes quant à elles constituent le deuxième type d'interaction. Elles se traduisent graphiquement par les liens directs entre un des éléments de l'environnement et l'objet d'étude. Il est important de préciser cet emploi du mot « contrainte ». Il s'agit bien là du terme technique de la méthode d'analyse fonctionnelle, qualifiant un rapport entretenu directement entre objet d'étude et un composant de l'environnement. Il ne s'imprègne en aucun cas du sens négatif courant inhérent à la notion de contrainte.

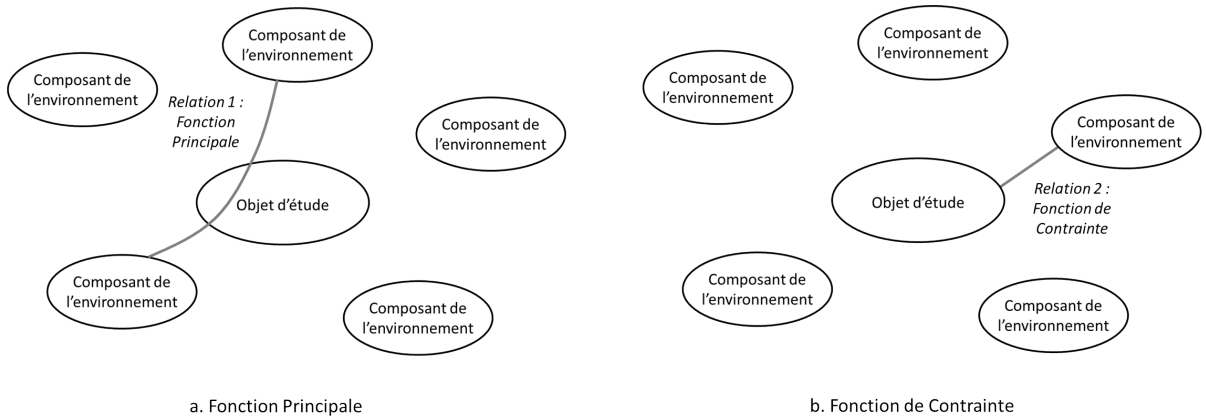


FIG. 5.2 – *Les deux types d'interaction du diagramme pieuvre*

La définition de la fonction proposée par l'AFNOR et reprise par Robert Tassinari, évoque un rapport entre la fonction et une « finalité » [Tassinari, 2003]. La fonction doit, de fait, nécessairement être associée à une finalité. C'est à dire que chacune des fonctions, qu'elle soit principale ou de contrainte doit contribuer à l'accomplissement de cette finalité. Pour rappel, la finalité de la couverture dans son système urbain, identifiée par analyse fonctionnelle est de *Créer un service de conciliation urbaine*. Elle s'attache à la réduction du conflit effectif entre infrastructure de transport et espace urbain traversé.

La notion de fonction est fortement, voire abusivement, employée. Une fonction se définit comme une action. Sa traduction littéraire se construit assez logiquement sur une tournure « verbe + complément(s) ». Le verbe correspond à la forme grammaticale permettant de définir une action. Les compléments permettent ensuite de donner des informations supplémentaires sur cette action. La

fonction est donc exprimée sous la forme d'un verbe à l'infinitif, exprimant les tenants de cette action, puis d'un ou plusieurs compléments de manière à comprendre quels sont les différents éléments concernés par l'action engagée. Les verbes sont exprimés à l'infinitif, ils sont ensuite rattachés à un sujet : l'objet d'étude.

Cette parenthèse sémantique peut paraître anecdotique, mais elle est cependant indispensable pour travailler rigoureusement. L'ensemble des acteurs d'un projet dispose d'un vocable professionnel qui lui est propre. Ainsi, la notion de fonction peut avoir des sens très différents autour d'une même table. Dans le cadre de ce travail de recherche, des incompréhensions et confusions autour du terme de fonction ont alimenté quelques débats autour du choix de l'emploi de l'analyse fonctionnelle pour modéliser la couverture. Les échanges avec les agences d'aménagement et d'architecture, pour qui les fonctions correspondent à des composantes programmatique : logements, bureaux, commerces, équipements, etc., ont également nécessité de clarifier l'utilisation du mot fonction, et de le repositionner dans le cadre méthodologique choisi. Ce qui constitue une fonction pour ces acteurs correspond à des composants de l'espace urbain (support d'activités des populations) pour nous. Ce terme s'est parfois même avéré bloquant pour l'intelligibilité de ce travail. Ainsi l'intérêt de poser très clairement la terminologie employée doit permettre d'homogénéiser le discours et de parler tous le même langage. Dans la suite de ce travail, la fonction sera donc formulée de la sorte.

5.1.3.1 Différence entre approche fonctionnelle et approche fonctionnaliste

Il est proposé ici d'établir la description et la modélisation d'un système urbain par son fonctionnement. Il est important de distinguer cette approche fonctionnelle du courant fonctionnaliste en marche dans les années 60. Il ne s'agit pas de réduire l'appréhension de l'espace à une fonction mais bien de déterminer le processus fonctionnel effectif entre des composants structuraux d'un système pour en saisir le fonctionnement global.

Le courant fonctionnaliste s'attachait à la séparation franche des fonctions (circuler, habiter, ...) sur des espaces. Il s'agissait donc de morceler le territoire en « grandes fonctions », et de s'appuyer sur ce découpage pour conduire des projets urbains. Ce courant a très rapidement rendu compte de ses limites [Gallez, 2014]. En effet, le fonctionnalisme a essuyé de vives critiques concernant notamment la sectorisation et l'effet de *zoning* qui en découlait. Outre les « fonctions », les logiques de programmation elles mêmes étaient catégorisées donnant lieu à des espaces déconnectés les uns des autres. C'est l'un des reproches que relève Gabriel Dupuy dans ses travaux [Dupuy, 1984]. Il prend l'exemple de la déconnexion des approches de programmation d'habitats et de transports, qui ont donné lieu à des aberrations.

La description fonctionnelle ne va pas dans ce sens. Il s'agit bien de déterminer les mécanismes et dynamiques fonctionnels qui rythment et animent un environnement, un objet ou un système. Le fait de déterminer des fonctions ne consiste pas à catégoriser des espaces à un type de fonctions mais bien à déterminer quels sont ces espaces et comment ils s'organisent. Les notions « circuler », « habiter », « se récréer », et « travailler » servent de spécification non exclusive d'environnements, de populations et d'espaces urbains. Les fonctions sont alors, comme évoqué dans la définition de

l'AFNOR, des actions entre différentes entités permettant d'aboutir à une finalité.

5.2 Identification des interactions : Analyse fonctionnelle externe de la couverture

La finalité du système étant identifiée, la suite de la démarche consiste à comprendre comment il la remplit. Quelles actions, quels processus sont-ils mis en œuvre pour atteindre ce but ? L'application de l'analyse fonctionnelle externe et interne doit permettre de répondre à cette question.

La description structurale du système et la recherche de sa finalité ont mis en évidence un ouvrage de couverture qui s'insère au sein de son système urbain dans le but d'y réduire un conflit. La finalité du système urbain de couverture« plus classique », à savoir de permettre aux populations d'exercer une activité sur un territoire géographique, ne pourrait se faire convenablement sans l'existence de la couverture. A ce titre, il parait judicieux de se concentrer sur les relations qu'entretient l'ouvrage de couverture avec les différents environnements (mobile, actif, habité, équipé) et avec leurs composants. Une analyse fonctionnelle externe, centrée sur la couverture permettrait de répondre à ces attentes, et notamment l'outil pieuvre de la méthode APTE. C'est donc sur cette démarche que s'appuie la suite de ce travail de modélisation.

5.2.1 Analyse fonction interne de la couverture

L'analyse fonctionnelle interne consiste donc en une analyse structurelle de l'ouvrage de couverture, d'un point de vue purement « génie civil ». Il s'agit de comprendre quels sont les composants de l'ouvrage et comment ces derniers interagissent entre eux. Cette étape ne prend pas cas des l'environnement extérieur de l'ouvrage.

L'analyse fonctionnelle interne de la couverture fait l'objet d'un travail mené par les sociétés d'ingénierie EGIS et ARCADIS dans le cadre du projet ANR CANOPEE [Moussard et al., 2015]. Ils disposent de la connaissance et de la compétence nécessaire pour cet exercice. Cette étape ne sera donc pas reprise dans ce mémoire. Pierre Mérand expose dans son étude, deux types de fonctions : d'une part les fonctions considérées comme internes à l'ouvrage de génie civil et d'autre part les fonctions relatives à la construction et à la déconstruction de l'ouvrage de couverture (Annexe C). Les fonctions internes concernent le fonctionnement propre à la structure de génie civil. Une fonction interne s'attache par exemple à « assurer la stabilité de la structure dans son usage normal et lors d'évènements exceptionnels ». Cette action consiste plus précisément reprendre les charges d'exploitation du dessus, retenir les terres adjacentes et assurer la stabilité au feu en cas d'incendie. Un autre exemple de fonction interne : « Assurer l'approvisionnement« l'écoulement des fluides ». Les fluides évoqués correspondent aux eaux propres, usées et pluviales, au gaz, à l'électricité et aux réseaux de télécommunication. Les fonctions de construction et déconstruction concernent plus particulièrement l'optimisation des coûts et délais et à la minimisation des impacts du chantier sur l'espace alentour.

L'application de l'analyse fonctionnelle interne de la couverture et la détermination des fonctions ont été élaboré pour être en adéquation avec démarche et le travail d'analyse fonctionnelle externe proposés dans ce travail de thèse.

5.2.2 Analyse fonctionnelle externe de la couverture

Le principe de l'analyse fonctionnelle externe consiste à déterminer les fonctions d'un objet. Pour cela, le diagramme pieuvre dispose les éléments autour de l'objet étudié. Une fois ce travail accompli, la méthode consiste à identifier et modéliser les interactions effectives entre eux. Ces dernières vont en fait correspondre aux fonctions portées par l'objet au sein de son environnement. Chacun des éléments est alors questionné sur les relations possibles avec la couverture. Comment l'environnement interagit-il avec la couverture ? etc. Un composant, ou dans ce cas un environnement, peut entretenir plusieurs relations avec l'ouvrage. Celles-ci peuvent être de natures très proches ou très différentes.

Le but est de mener une analyse fonctionnelle externe de la couverture au sein du système urbain défini. Il s'agit donc de procéder de la manière exposée ci-dessus en positionnant la couverture au centre de notre graphique, et les quatre environnements (espaces spécifiés + populations associées) autour (Fig.5.3).

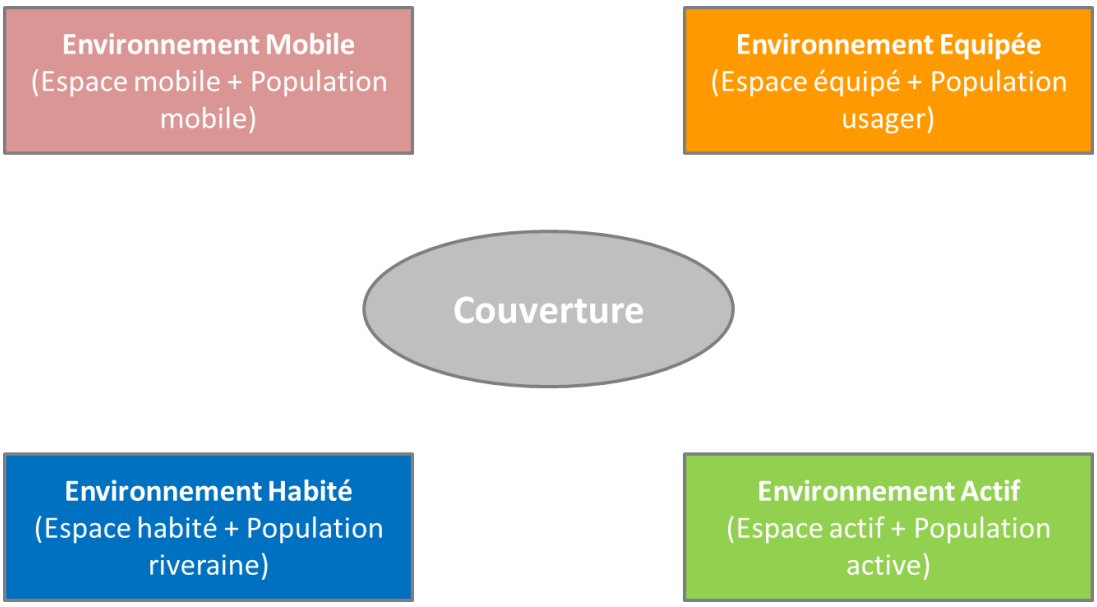


FIG. 5.3 – *Amorce de l'application de l'outil pieuvre au système couverture*

Il est ainsi possible de procéder à l'identification et à la modélisation des interactions.

5.2.3 Fonctions principales de la couverture

Les quatre espaces spécifiés (Espace mobile, espace actif, espace équipé, espace habité) autour de la couverture sont soumis au protocole de l'outil graphique. L'ensemble des relations possibles entre deux composants et la couverture est identifié. La construction de ce graphique fonctionnel s'appuie sur les connaissances obtenues grâce à l'étude de la base de données, aux visites de terrain

et aux échanges avec les acteurs opérationnels du projet CANOPEE.

Le diagramme pieuvre met par exemple en évidence l'existence d'une première interaction entre l'environnement mobile et l'espace habité. Il s'agit de de la fonction « Créer une proximité entre l'espace mobile et l'espace habité ». Une seconde interaction entre ces deux mêmes environnements modélise une autre fonction : « Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure ». Si les fonctions peuvent être modélisées par le biais d'interactions entre deux environnements distincts, elles peuvent également relier deux fois le même. La fonction « protéger l'espace mobile des nuisances générées par l'infrastructure » par exemple relie graphiquement l'environnement mobile à lui-même en passant par la couverture. L'infrastructure de transport, sur laquelle se concentre l'action constitue de l'environnement mobile.

L'application de la pieuvre (Fig.5.4) nous permet de déterminer onze fonctions principales de la couverture dans son système urbain. Elles sont répertoriées dans le tableau suivant (Tab.C.2). L'identifiant qui leur ait attribué ici permet de référencer chacune d'elles. Il s'établit de la manière suivante : « FP » pour « Fonction Principale » précisant le type de fonction dont il est question et d'un index numérique permettant de marquer la fonction de manière unique. Cet index n'exprime aucun ordre d'importance entre les différentes fonctions. Il a été définit pour chacune au fur et à mesure de la modélisation. Ainsi, la fonction « Créer une proximité entre espace mobile et espace habité » aura pour identifiant « FP01 » et « Protéger l'espace mobile des nuisances générées par l'infrastructure », l'identifiant « FP07 ».

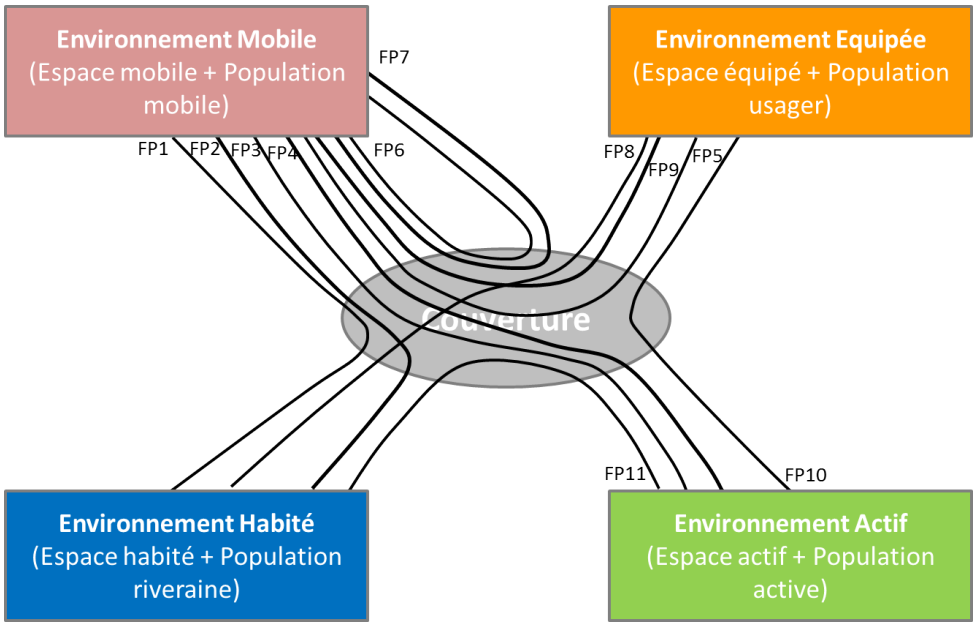


FIG. 5.4 – *Détermination des fonctions principales du système par l'utilisation de l'outil pieuvre*

TAB. 5.1 – *Fonctions principales du système*

FP	Intitulé de la fonction
FP01	Créer une proximité entre espace mobile et espace habité / Assurer l'accessibilité de l'espace habité pour les populations
FP02	Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
FP03	Créer une proximité entre espace mobile et espace actif / Assurer l'accessibilité de l'espace actif pour les populations
FP04	Protéger l'espace actif des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
FP05	Créer une proximité entre espace mobile et espace équipé / Assurer l'accessibilité de l'espace équipé pour les populations
FP06	Créer une proximité entre espace mobile et espace mobile / Assurer l'accessibilité de l'espace mobile pour les populations
FP07	Protéger l'espace mobile des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
FP08	Créer une proximité entre espace habité et espace équipé
FP09	Protéger l'espace équipé des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
FP10	Créer une proximité entre espace actif et espace équipé
FP11	Créer une proximité entre espace habité et espace actif

Deux groupes de fonctions ressortent de ce tableau. Tout d'abord, les fonctions concernant la création de proximité entre les différents espaces constituent un premier groupe de fonctions principales. Il sera référencé comme le groupe *G1* de fonctions dans la suite de ce travail. Ensuite, un second groupe*G2* recense les fonctions relatives à la protection des espaces et populations vis à vis des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport.

Ces fonctions vont contribuer pour partie au fonctionnement du système, il est donc impératif de comprendre précisément sur le sens attribué à chacune d'elles.

5.2.4 Fonctions de contraintes de la couverture

Il s'agit à présent de déterminer les fonctions de contrainte du système. De la même manière que précédemment, la couverture et les différents environnements sont disposés afin de pouvoir identifier les fonctions effectives du système. Ces fonctions correspondent, cette fois ci, aux interactions directes entre la couverture et un des composants de son environnement, sur l'outil pieuvre(Fig.5.5).

Pour prendre un exemple, une interaction relie directement l'ouvrage de couverture à l'espace équipé. Il s'agit de la fonction « Assurer le confort des populations sur l'espace équipé ». Ici aussi des identifiants sont affectés à chaque fonction : « FC » pour fonction de contrainte, suivi d'une particule

numérique unique. Ainsi, la fonction « Assurer le confort des populations sur l'espace équipé » a pour identifiant : FC05.

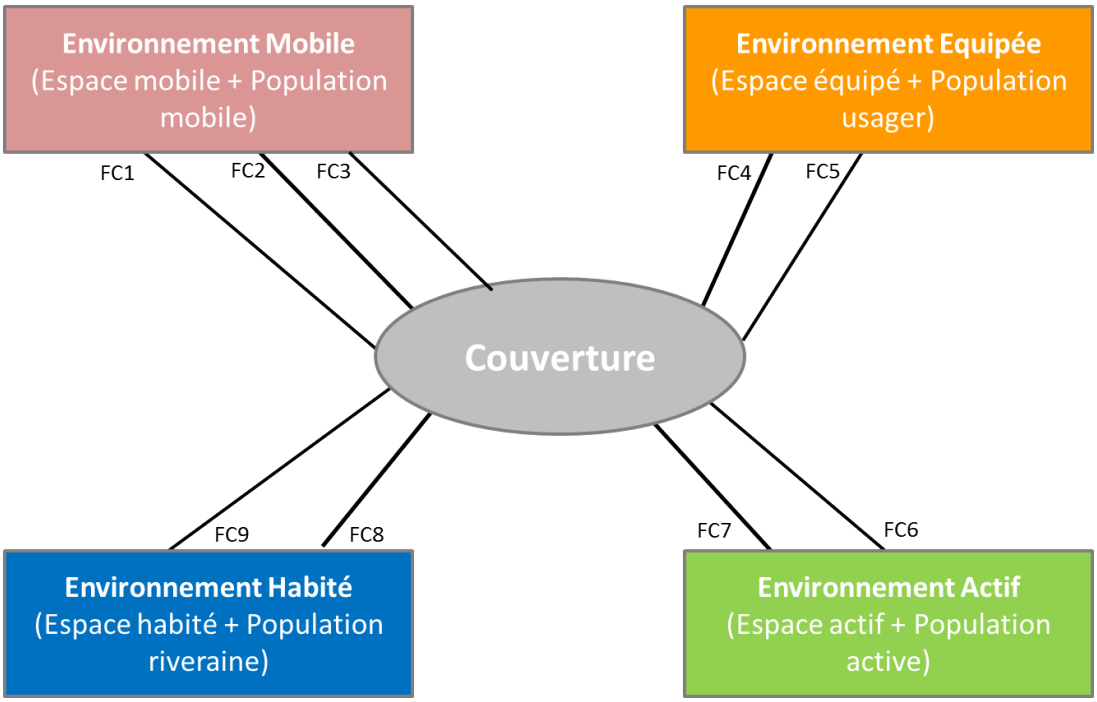


FIG. 5.5 – *Détermination des fonctions de contrainte du système par l'utilisation de l'outil pieuvre*

TAB. 5.2 – *Fonctions de contrainte du système*

FC	Intitulé de la fonction
FC01	Assurer le confort des populations sur l'espace mobile
FC02	Créer du foncier à destination de l'espace mobile / Créer de l'espace mobile
FC03	Assurer l'efficience de l'infrastructure de transport
FC04	Créer du foncier à destination de l'espace équipé / Créer de l'espace équipé
FC05	Assurer le confort des populations sur l'espace équipé
FC06	Assurer le confort des populations sur l'espace actif
FC07	Créer du foncier à destination de l'espace actif / Créer de l'espace actif
FC08	Créer du foncier à destination de l'espace habité / Créer de l'espace habité
FC09	Assurer le confort des populations sur l'espace habité

L'outil graphique fait apparaitre neuf fonctions de contrainte (Tab.5.2). Quatre d'entre elles concernent la création de foncier pour chaque sous-espace. Ces fonctions sont regroupées au sein d'un même groupe *G4*. Quatre autres s'apparentent au confort des populations sur les différents espaces

formant le groupe *G3*. Enfin, une dernière porte sur le maintien de l'efficience de l'infrastructure de transport et forme à elle seule le groupe de fonction *G5*.

5.2.5 Déclinaison et hiérarchisation des fonctions

Le travail d'analyse fonctionnelle externe a permis d'obtenir une première compréhension globale du fonctionnement de la couverture dans son environnement et donc du système. L'application des diagrammes pieuvres sur la couverture dans son système urbain a permis d'identifier un premier jeu de fonctions. Ces dernières ont pu être classé en cinq groupes :

- G1 : Créer une proximité entre les espaces,
- G2 : Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport,
- G3 : Assurer le confort des populations sur les différents espaces,
- G4 : Créer du foncier à destination des espaces,
- G5 : Assurer l'efficience de l'infrastructure.

Cette organisation permet d'avoir une classification par activité, ou type d'action. Ces groupes peuvent finalement être assimilés à des « fonctions mères » des fonctions identifiées par analyse fonctionnelle. Une relation d'affiliation s'établit alors. Celle-ci se base sur une déclinaison par niveau de précision de la fonction. Autrement dit, la fonction mère G4 « Créer du foncier à destination des espaces » se décline en quatre « fonctions filles » précisant l'espace sur lequel l'action de créer du foncier s'exerce.

Dans l'optique d'aboutir à une évaluation du système et de son fonctionnement, ce travail mérite d'être encore précisé. Pour cela, il est proposé ici, d'utiliser la décomposition des espaces spécifiés en niveaux de granularité plus fins (cf. Section3.3.4). La définition structurale du système a permis de déterminer plus précisément les éléments composants les espaces mobile, habité, équipé et actif. Cette déclinaison est utilisée pour l'application de l'analyse fonctionnelle externe et la recherche de fonctions plus précises (Fig.5.6).

L'application de l'outil pieuvre doit permettre de mettre en évidence l'ensemble des interactions (fonctions principales et fonctions de contraintes) entre chacun de ces sous-composants. Cela va permettre de décliner les fonctions selon ces niveaux de granularité pour lesquelles l'évaluation est possible. Une fonction n'est pas forcément assignée à un niveau de granularité. En effet, une fonction peut relier un élément du système décomposé au niveau de granularité 1, l'espace habité par exemple, et un élément du troisième niveau comme le réseau routier. La déclinaison du système urbain correspond à niveau de détail plus important dans la définition structurale du système. L'objectif n'est pas de de disposer forcément de l'ensemble des fonctions identifié au niveau de granularité le plus fin mais de permettre aux fonctions d'être le plus précise possible lorsque cela est pertinent.

Pour déterminer à quel niveau de précision nous sommes, dans la suite de ce mémoire, nous parlerons du rang de la fonction. Chaque action est classée selon la fonction mère à laquelle elle est

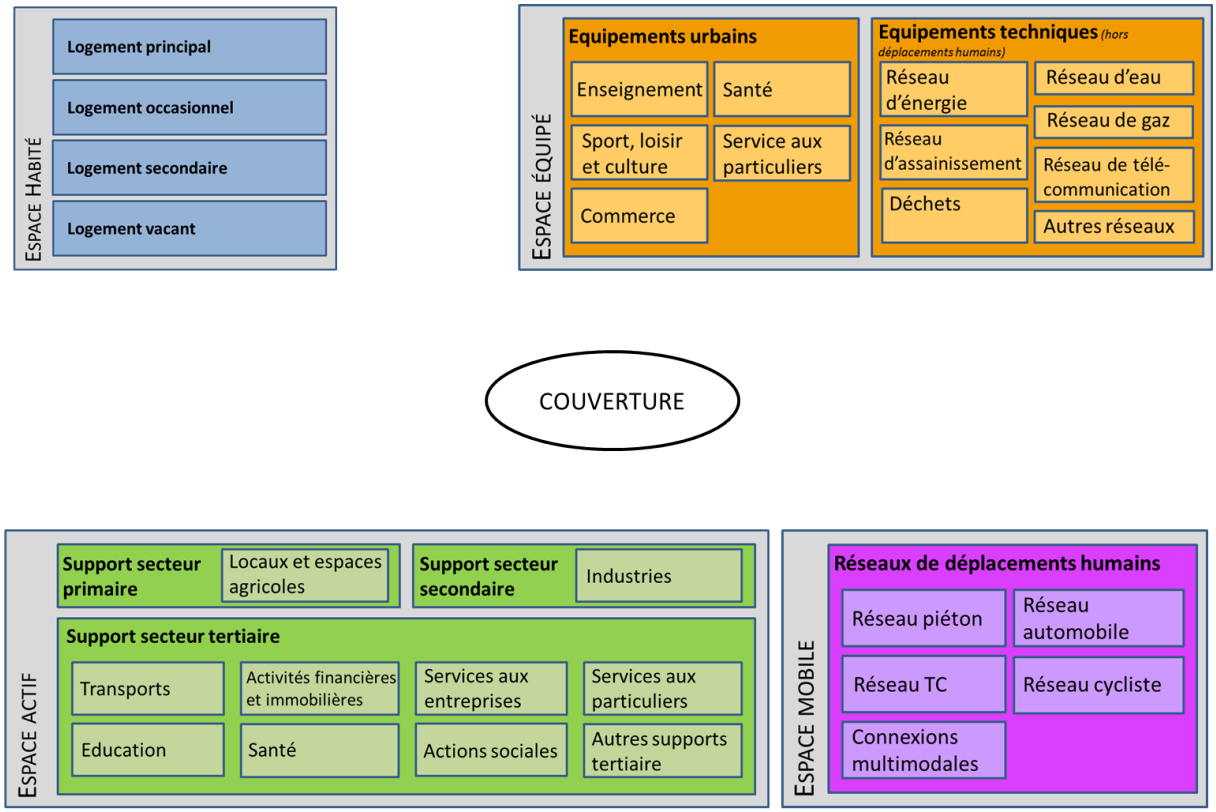


FIG. 5.6 – *Préparation à l'application de l'analyse fonctionnelle externe par l'outil pieuvre*

affiliée. Celle-ci est considéré de *rang 1*. Les deux rangs hiérarchiques suivants se construisent par affiliation des fonctions mère pour le *rang 2*, et des fonctions filles du *rang 2* pour les fonctions de *rang 3*. Les fonctions de *rang 2* correspondent aux résultats de l'analyse fonctionnelle externe sur les quatre sous espaces (mobile, habité, actif, équipé) non déclinés. Enfin, les fonctions de troisième rang regroupe les fonctions issues de la seconde série de pieuvres appliquées au système décomposé au niveau de granularité le plus fin. Cette classification par type d'action couplée à la relation d'affiliation permet d'une part d'organiser de manière plus lisible la liste de fonctions, et d'autre part de bien cibler quelle fonction est la déclinaison de quelle autre. L'application de l'analyse fonctionnelle sur la couverture dans ce système décliné va générer un grand nombre de fonctions. Ainsi, pour plus de lisibilité, il est proposé de procéder en construisant des pieuvres distinctes relatives aux cinq fonctions mère identifiées.

5.2.6 Description des fonctions

Les fonctions principales et les fonctions de contraintes identifiées grâce à l'application de l'analyse fonctionnelle ont tout d'abord fait l'objet de discussions avec des acteurs étant ou ayant été concernés par des projets de couverture. Elles résultent également de l'étude de la base de données et de visites de terrain.

Les paragraphes suivants ont pour but de décrire plus en détail chacune des fonctions mères identifiées et d'en présenter leur déclinaison respective. Pour cela, chaque description fera face dans

le document au diagramme pieuvre permettant sa déclinaison.

Concernant la fonction G1 « Créer une proximité entre les différents espaces » présentera différentes pieuvres. En effet, il résulte de la déclinaison de cette fonction mère un très grand nombre de fonctions fille. Ainsi, par soucis de lisibilité, j'ai choisi ici de représenter plusieurs diagrammes distincts.

5.2.6.1 Créer une proximité entre les espaces

La fonction « Créer une proximité entre les espaces » se positionne en réponse aux problématiques de coupure urbaine générée par l'infrastructure de transports sur l'espace urbain. Cette coupure se manifeste par un premier effet relatif aux difficultés, voire à l'impossibilité, de franchissement de l'infrastructure. Ainsi, le manque de cheminement permettant le passage d'une rive à l'autre des voies, les détours que cela implique et les obstacles rencontrés, impliquent une inaccessibilité d'espaces géographiquement proches (Fig.5.7).

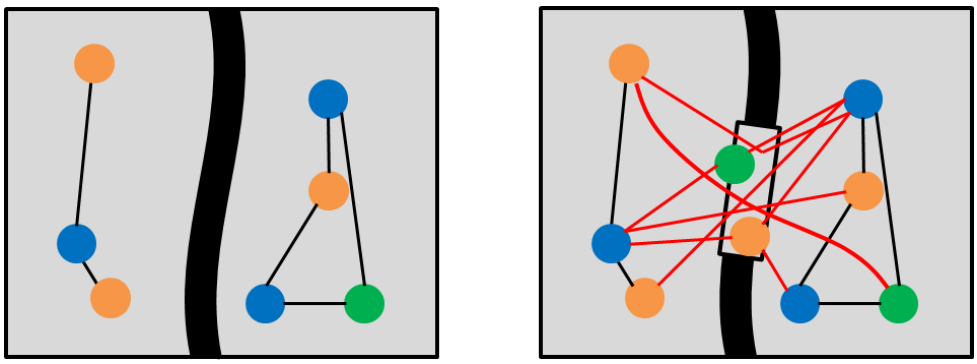


FIG. 5.7 – *Schématisation du groupe de fonctions « Créer une proximité entre les espaces »*

Les disques de couleurs bleus, oranges et verts représentent des éléments de l'environnement et se réfèrent aux espaces précédemment spécifié lors de la composition du système. Sur la figure A, les éléments sont en relation sur chaque rive de l'infrastructure mais ne décrivent aucun lien d'une rive à l'autre. En revanche, sur la figure B, les liens entre deux rives et donc la « mise en proximité » est rendu possible par la présence de la couverture.

Le premier diagramme concerné par l'application à un niveau de granularité plus fin concerne les fonctions filles de G1 « Créer une proximité entre les espaces ». Ce travail de déclinaison a pour but d'éclairer l'ensemble des relations et interactions possibles au sein du système du fait de la création de la couverture et, de fait, de la réduction de la coupure. Du fait du nombre important de relations à modéliser, il a été choisi de construire plusieurs graphique pour accroitre la lisibilité du résultat.

L'une des fonctions de la couverture consiste à créer une proximité entre ces espaces. Tout d'abord, en permettant de traverser l'infrastructure par un ou plusieurs flux de circulation. Ce premier graphique (Fig.5.8) modélise les fonctions principales relatives à la mise en proximité de l'espace mobile avec les autres espaces et avec les différents réseaux de déplacement humain composant l'espace mobile. Cette pieuvre permet d'apprécier leur niveau d'accessibilité. La fonction FP01 par exemple « Créer une proximité entre l'espace mobile et l'espace habité » se décline en quatre fonctions relatives au réseau rendant accessible l'espace habité : FP01-1 « Créer une proximité entre réseau automobile et l'espace habité », FP01-2 « Créer une proximité entre réseau cycliste et l'espace habité », FP01-3 « Créer une proximité entre réseau piéton et l'espace habité », et FP01-4 « Créer une proximité entre réseau TC et l'espace habité ». Cette déclinaison est similaire pour l'espace actif, et équipé.

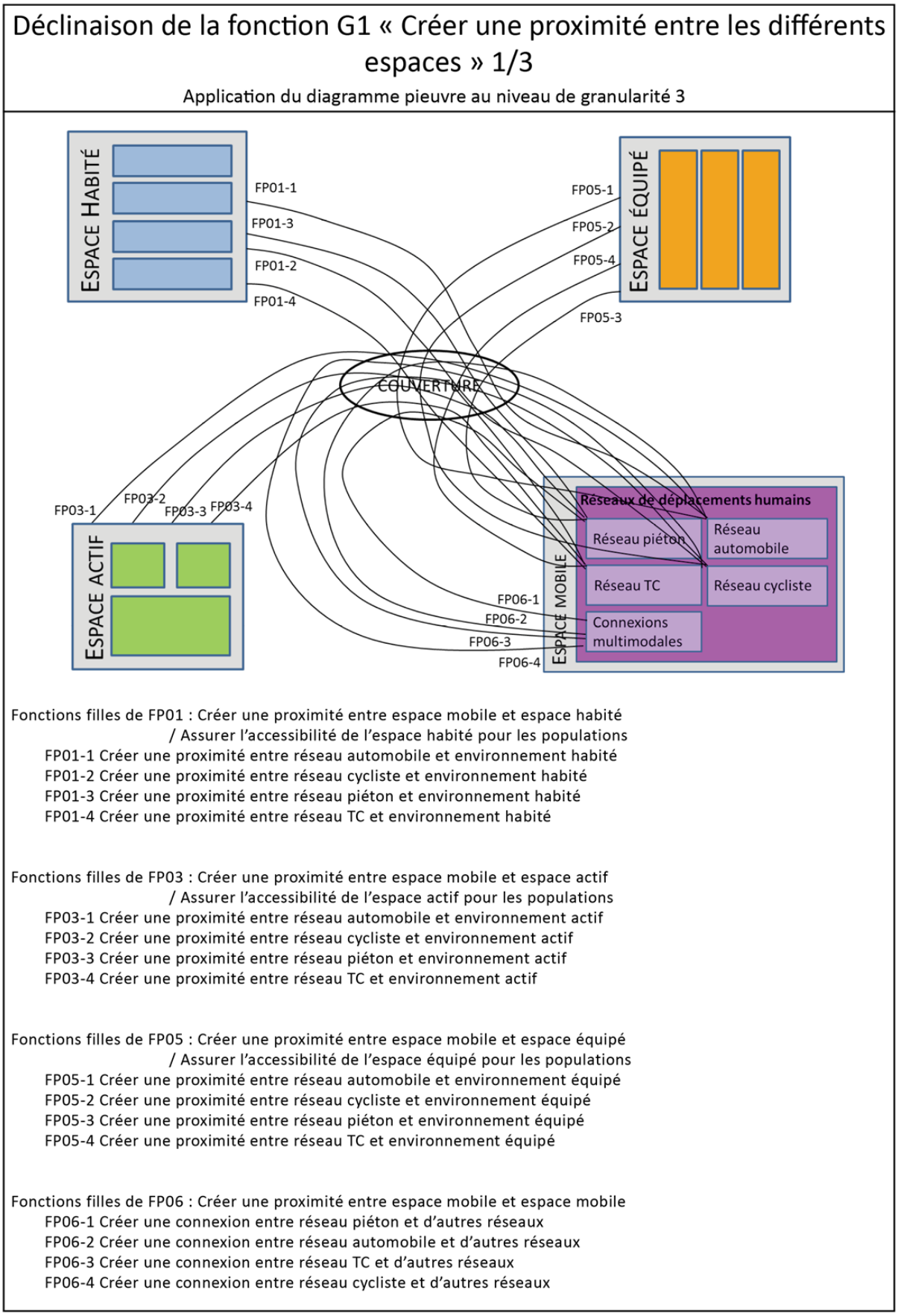


FIG. 5.8 – *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces »*

Une fonction (FP06) permet également la création d'une proximité entre l'espace mobile et lui même. Elle concerne la création de liaison et de connexion entre différents réseaux. L'étude de la base de données a montré que la mise en place de couvertures était propice à la création de pôles de transport multimodaux de plus ou moins grande importance. Le fait de réduire la coupure suggère une réflexion sur l'organisation nouvelle des réseaux. Pour cela, cette fonction se décline en quatre fonctions principales, reliant les réseaux routiers, cyclistes, piétons et TC au composant de l'espace mobile « connexion multimodale ».

Cette fonction se conçoit également en verticalité ; la création de proximité peut aussi se faire depuis l'espace urbain (sur le périmètre du système) vers l'infrastructure de transport. Graphiquement, cette dernière s'apparente au réseau routier ou au réseau TC selon sa nature.

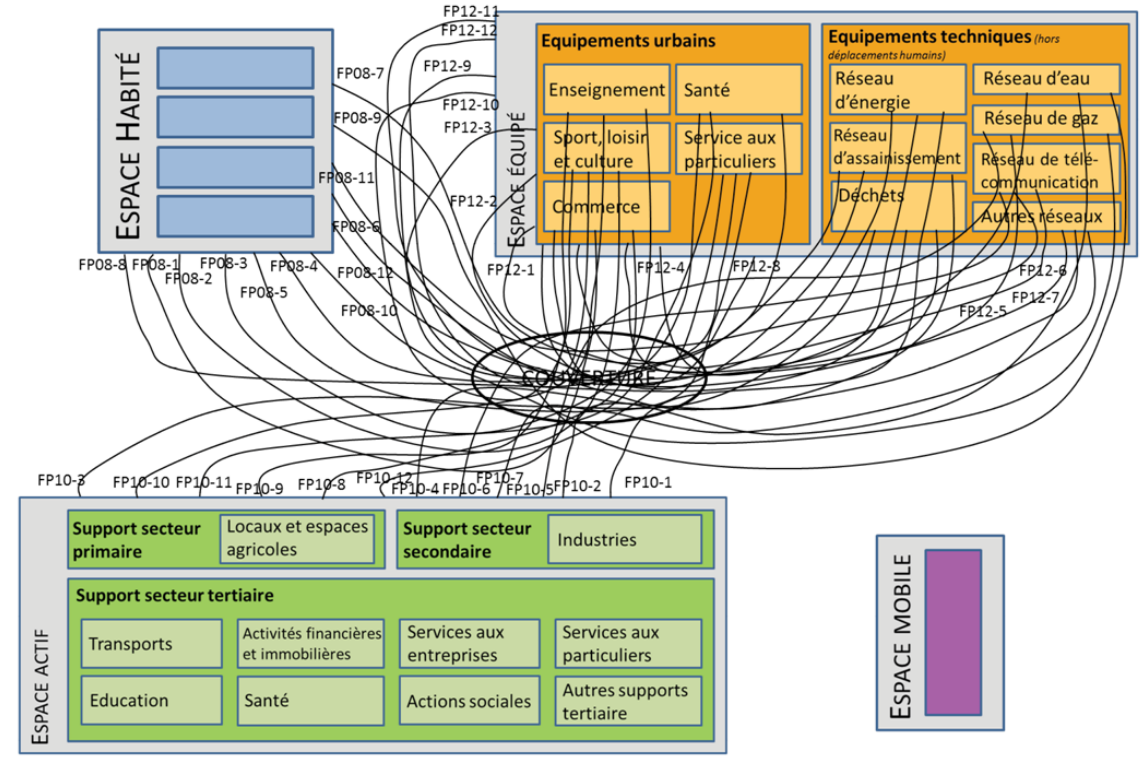
La fonction « Créer une proximité entre les espaces » consiste en la mise en relation des différents espaces. Outre le fait d'assurer l'accessibilité, la considération de cette fonction permet de saisir le rôle de la couverture et du système, en termes de composition urbaine au sein du périmètre du système urbain de couverture. Cette fonction relève de l'intérêt de comprendre les rapports et proportions entre différents espaces et composants d'espace. Le système couverture va permettre *a priori* de relier les deux rives de l'infrastructure et de fait convertir deux environnements en un seul et même environnement. Par là même il connecte les éléments urbains d'une rive à l'autre et les intègre au sein d'une même composition urbaine. Ainsi, dans l'hypothèse où la couverture remplit la fonction FP08-2 « Créer une proximité entre équipements sportif, de loisir et culturel et logements », un équipement culturel présent sur une rive par exemple, deviendra proche et partie prenante de l'espace pour l'espace habité de l'autre rive de l'infrastructure.

Les aménagements et/ou constructions sur la couverture sont également considérés dans cette fonction. Autrement dit, l'espace créé sur la couverture prend part à la composition urbaine du système. Si le foncier créé à permis la création de commerces ou de bureaux, alors la couverture crée une proximité entre ceux-ci et l'ensemble des espaces (et composants d'espace) présents sur le périmètre du système.

Il s'agit là du diagramme pieuvre proposant la déclinaison de fonction la moins homogène. Cela s'explique du fait du niveau de détail pertinent pour la description des fonctions modélisées. La fonction FP08, évoquée ci-dessus, se décline en six fonctions principales, selon les six types d'équipements. Les logements sont considérés globalement par l'espace équipé. La proximité des divers équipements aux logements permet de déterminer les éventuels besoins, les manques ou la concentration de certain équipement pour une proportion de population riveraine locale. La fonction FP13 « Créer une proximité entre espace habité et espace habité » ne fait quant à elle, pas l'objet de déclinaison plus fine. Elle n'est cependant pas inutile, puisqu'elle permet de décrire ce que l'on met en proximité grâce à la couverture.

Déclinaison de la fonction G1 « Créer une proximité entre les différents espaces » 2/3 (ici proximité avec l'espace équipé)

Application du diagramme pieuvre au niveau de granularité 3



Fonctions filles de FP08 : Créer une proximité entre espace habité et espace équipé
- FP08-1 Créer une proximité entre espace habité et commerce
- FP08-2 Créer une proximité entre espace habité et équipements de sports, loisirs et culture
- FP08-3 Créer une proximité entre espace habité et équipements d'enseignement
- ...

Fonctions filles de FP09 : Créer une proximité entre espace habité et espace actif
- FP09-1 Créer une proximité entre espace habité et locaux et espaces agricoles
- FP09-2 Créer une proximité entre espace habité et industries
- FP09-3 Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités de services aux particuliers
- ...

Fonctions filles de FP10 : Créer une proximité entre espace actif et espace équipé
- FP10-1 Créer une proximité entre espace actif et réseau d'énergie
- FP10-2 Créer une proximité entre espace actif et réseau d'assainissement
- FP10-3 Créer une proximité entre espace actif et réseau de déchets
- ...

Fonctions filles de FP11 : Créer une proximité entre espace actif at espace actif
- FP11-1 Créer une proximité entre services aux entreprises et environnement actif

Fonctions filles de FP12 : Créer une proximité entre espace équipé et espace équipé
- FP12-1 Créer une proximité entre équipements urbains et réseau d'énergie
- FP12-2 Créer une proximité entre équipements urbains et réseau d'assainissement
- FP12-3 Créer une proximité entre équipements urbains et réseau de déchets
- ...

Fonctions filles de FP13 : Créer une proximité entre espace habité et espace habité

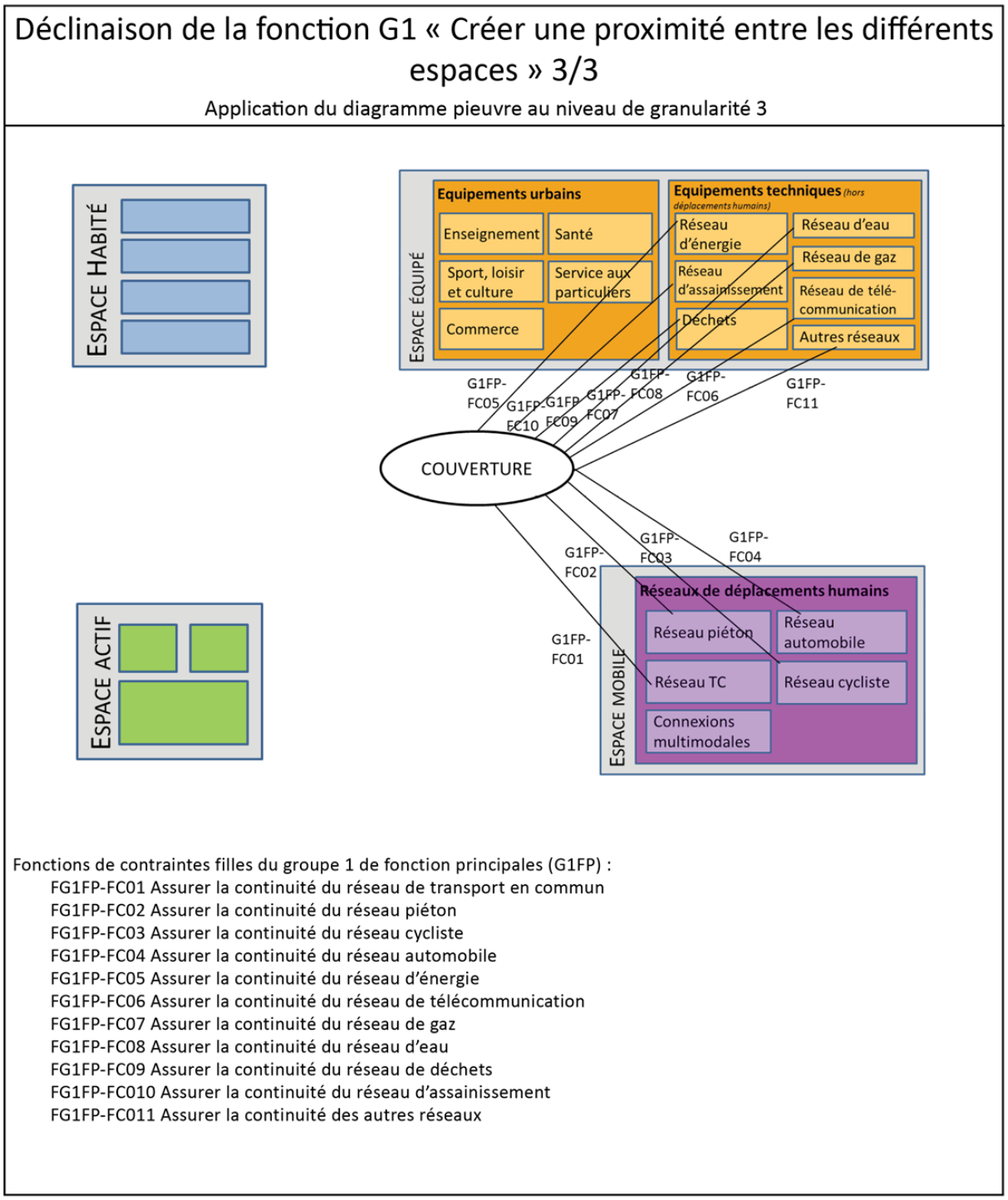
NB : Pour des raisons de lisibilité l'ensemble des fonctions n'a pas pu être listé et représentée sur le corps de texte. Pour les consulter cf. Annexe D

FIG. 5.9 – *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces »*

Le fait de « Créer une proximité entre les espaces » passe également par le fait d'« Assurer la continuité des réseaux » sur la couverture, avec les rives de l'infrastructure et l'espace sous la couverture (Fig.5.10). Cette déclinaison se modélise en onze fonctions de contrainte (de rang 3) reliant l'ouvrage de couverture à chaque réseau de déplacement et réseau technique (Fig.5.11). Par exemple, la fonction FG1FP-FC02 « Assurer la continuité du réseau piéton » relie la couverture au réseau piéton, composant de l'espace mobile.

FIG. 5.10 – *Schématisation du groupe de fonctions « Créer une proximité entre les espaces »- 2*

Cette fonction est absolument primordiale pour le traitement de la coupure urbaine. Plusieurs exemples concrets, tels que la couverture de l'autoroute A6 à Gennevilliers, montrent que le fait d'ignorer la continuité des réseaux peut poser des problèmes de franchissement, de desserte et d'appropriation de l'espace. En termes de déplacement notamment, la discontinuité des cheminements peut induire des difficultés de parcours et amener la population mobile à délaisser ce lieu. Cette situation tend finalement à maintenir de l'effet de coupure. Le manque de continuité des réseaux techniques peut également s'avérer fortement problématique, il faut composer avec une trame de réseaux existante afin de permettre la desserte optimale de chaque espace. L'absence de continuité combinée des réseaux techniques et de déplacements influent également négativement sur la continuité des services.



Fonctions de contraintes filles du groupe 1 de fonction principales (G1FP) :

- FG1FP-FC01 Assurer la continuité du réseau de transport en commun
- FG1FP-FC02 Assurer la continuité du réseau piéton
- FG1FP-FC03 Assurer la continuité du réseau cycliste
- FG1FP-FC04 Assurer la continuité du réseau automobile
- FG1FP-FC05 Assurer la continuité du réseau d'énergie
- FG1FP-FC06 Assurer la continuité du réseau de télécommunication
- FG1FP-FC07 Assurer la continuité du réseau de gaz
- FG1FP-FC08 Assurer la continuité du réseau d'eau
- FG1FP-FC09 Assurer la continuité du réseau de déchets
- FG1FP-FC010 Assurer la continuité du réseau d'assainissement
- FG1FP-FC011 Assurer la continuité des autres réseaux

FIG. 5.11 – *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces - Créer une continuité des réseaux »*

5.2.6.2 Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure

La fonction « Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure » consiste, comme son intitulé le stipule, à réduire les nuisances de bruit, de pollution atmosphérique, de vibrations et d'intrusion paysagère issues de l'infrastructure de transport et de l'activité qu'elle supporte (Fig.5.12). Cette fonction se traduit par l'action physique de l'ouvrage de génie civil, qui tient lieu d'écran vis-à-vis de ces nuisances.

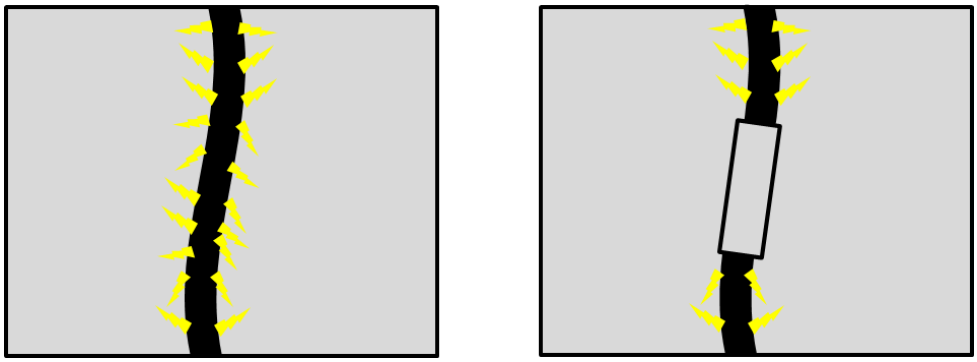


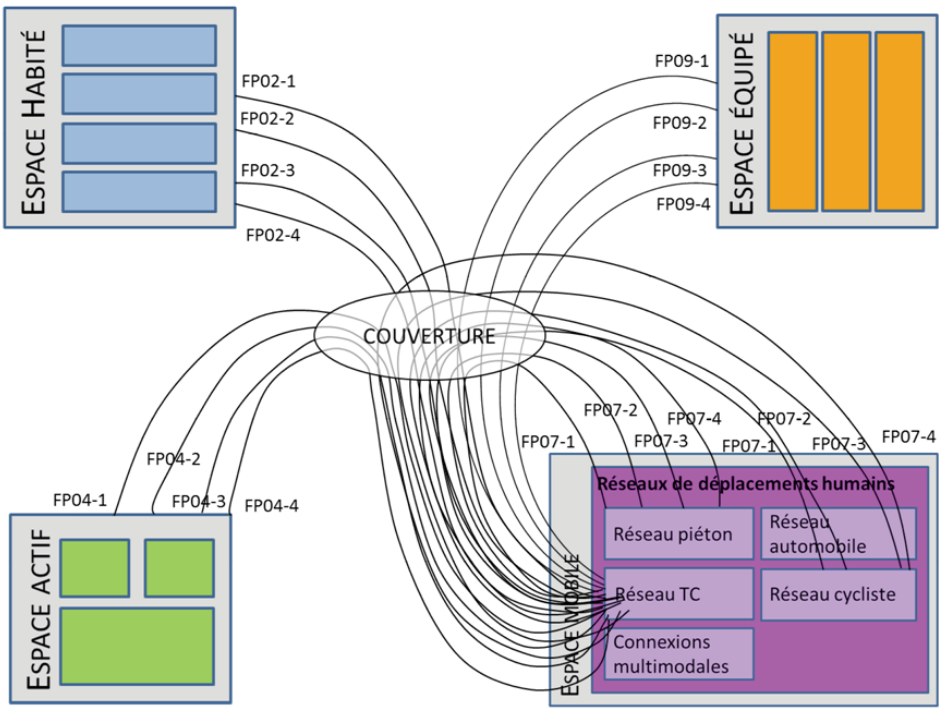
FIG. 5.12 – *Schématisation du groupe de fonctions « Protéger les espaces environnementales générées par l'infrastructure »*

La fonction G2 « Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport » se décline selon les quatre nuisances environnementales identifiées dans le Chapitre 4 de ce mémoire (cf. 4.1.2) et non par une décomposition fine du système. Ainsi, en déclinaison de la fonction FP02 « Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure » se fait de la manière suivante : « Protéger l'espace habité du bruit généré par l'infrastructure », « Protéger l'espace habité de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure », « Protéger l'espace habité des vibrations générées par l'infrastructure » et enfin « Protéger l'espace habité de l'intrusion paysagère générée par l'infrastructure ». On procède similairement pour décliner les trois autres fonctions du groupe. En effet, il apparait plus pertinent de déterminer si un espace est protégé contre tel ou tel type de nuisance plutôt que de rentrer dans le détail de chaque sous-espace. Quelque soit le type d'équipement implanté en bord d'infrastructure, il sera soumis aux nuisances de la même manière.

Sur le graphique pieuvre proposé (Fig.5.13), seul l'espace mobile fait l'objet d'une décomposition à un niveau de granularité plus fin. Il s'agit par là de cibler la nature de l'infrastructure à l'origine de ces nuisances. Cette distinction entre infrastructure de transport routières ou ferroviaires est importante dans l'analyse fonctionnelle car celles-ci ne génèrent pas nécessairement les mêmes nuisances. Une autoroute urbaine impacte très fortement l'espace urbain par la pollution atmosphérique qui en émane. Cette nuisance est bien moins élevée avec les voies ferrées. En revanche, ces dernières sont sources de vibrations mécaniques. Le diagramme ci-dessous modélise la déclinaison de la fonction G2 vis-à-vis des nuisances générées par une infrastructure ferroviaire. Par soucis de lisibilité du graphique, il a été choisi de ne pas représenter l'équivalence pour les infrastructures routières sur la même figure.

Déclinaison de la fonction G2 « Protéger les espaces contre les nuisances environnementales générées par l'infratructure de transport »

Application du diagramme pieuvre au niveau de granularité 3



Fonctions filles de FP02 : Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
- FP02-01 Protéger l'espace habité du bruit généré par l'infrastructure
- FP02-02 Protéger l'espace habité de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure
- FP02-03 Protéger l'espace habité des vibrations générées par l'infrastructure
- FP02-04 Réduire l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure vis-à-vis de l'espace habité

Fonctions filles de FP04 : Protéger l'espace actif des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
- FP04-01 Protéger l'espace actif du bruit généré par l'infrastructure
- FP04-02 Protéger l'espace actif de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure
- FP04-03 Protéger l'espace actif des vibrations générées par l'infrastructure
- FP04-04 Réduire l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure vis-à-vis de l'espace actif

Fonctions filles de FP07 : Protéger l'espace mobile des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
- FP07-01 Protéger les réseaux de déplacements doux du bruit généré par l'infrastructure
- FP07-02 Protéger les réseaux de déplacements doux de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure
- FP07-03 Protéger les réseaux de déplacements doux des vibrations générées par l'infrastructure
- FP07-04 Réduire l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure vis-à-vis des réseaux de déplacements doux

Fonctions filles de FP09 : Protéger l'espace équipé des nuisances environnementales générées par l'infrastructure
- FP09-01 Protéger l'espace équipé du bruit généré par l'infrastructure
- FP09-02 Protéger l'espace équipé de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure
- FP09-03 Protéger l'espace équipé des vibrations générées par l'infrastructure
- FP09-04 Réduire l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure vis-à-vis de l'espace équipé

FIG. 5.13 – *Pieuvre de la fonction « Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport »*

5.2.6.3 Créer du foncier

La fonction Créer du foncier se réfère assez logiquement à la création et/ou la récupération de sol urbain générée physiquement par la couverture et éventuellement par la reconquête des espaces délaissés à ses franges (Fig.5.14). L'exemple du projet de Paris Rive Gauche illustre parfaitement la mise en œuvre de cette fonction. Les 26 hectares de couvertures offrent un nouvel espace foncier non négligeable en superposition verticale des voies de circulation des trains partant (ou arrivant) de la Gare d'Austerlitz. En fonction de sa nature et de ses dimensions, la couverture en tant qu'ouvrage de génie civil peut être carrossable, accueillir des constructions, etc.

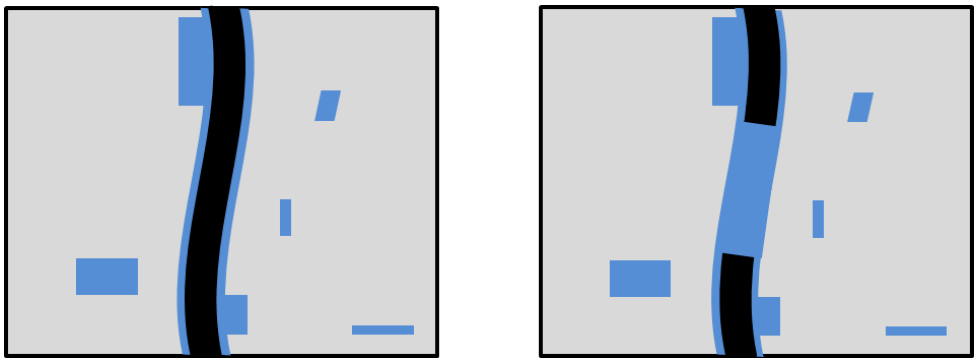
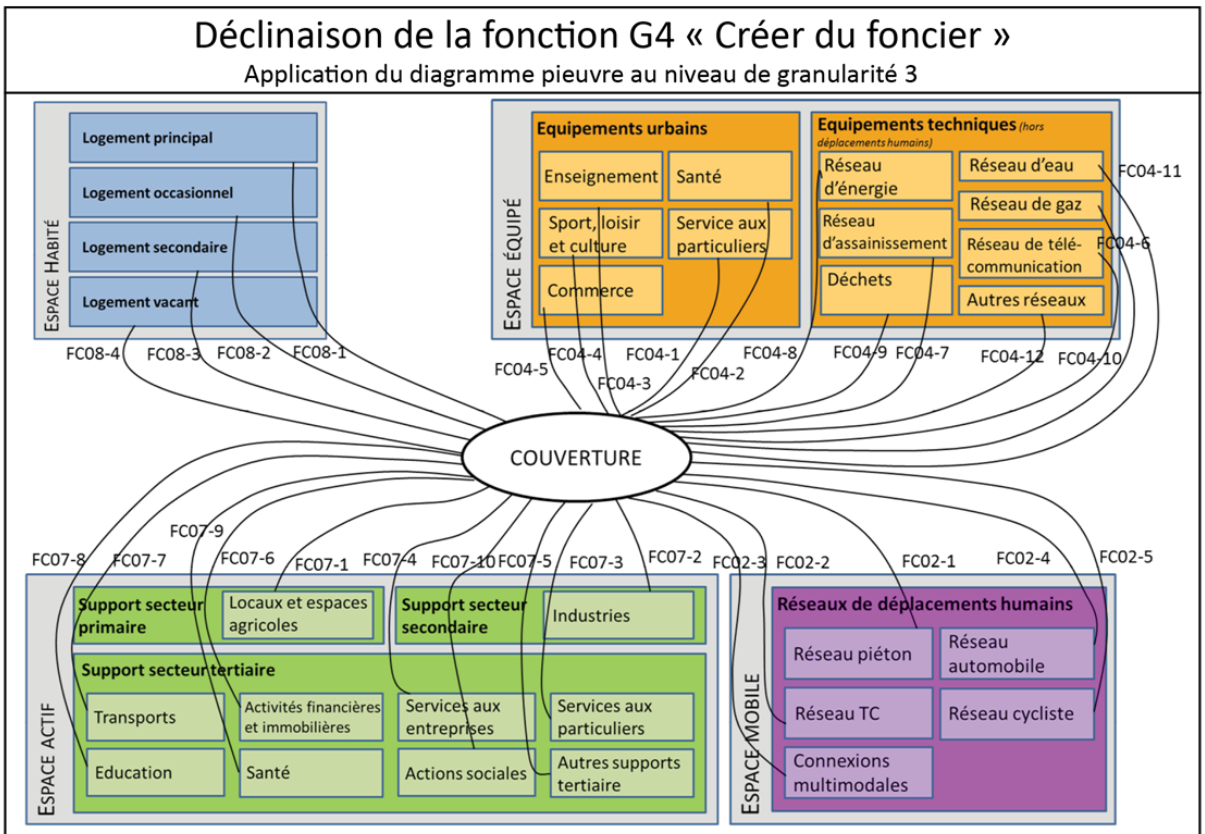


FIG. 5.14 – *Schématisation du groupe de fonctions « Créer du foncier »*

Cette fonction répond de manière très locale (sur le périmètre structurel) au problème de coupure et de consommation d'espace. Cependant, en raisonnant à l'échelle du projet urbain, cette emprise foncière est structurante en termes de composition urbaine et s'intègre dans une réserve foncière plus large. Outre son action sur la composition urbaine, la fonction « Créer du foncier à destination des différents espaces » présente également un intérêt financier. En effet, les opérations de couverture concernent généralement des tissus urbains denses, pour lesquels les réserves de fonciers sont rares et chères. De fait, la création et la vente d'emprises foncières permettent d'avoir une compensation financière à la mise en œuvre onéreuse de l'ouvrage de couverture [Moussard et al., 2015]. Le revenu financier dépend nécessairement de la destination du foncier. En effet, la valeur et le coût seront différents en fonction de la programmation prévue au dessus de la couverture. Par exemple, l'opération de couverture à Amsterdam Zuidas présente une programmation essentiellement à destination de bureaux. Si le projet est comparable en de nombreux point (la surface notamment) à Paris Rive Gauche, le bilan financier hollandais est plus rentable. En effet, le choix de la ZAC parisienne porte sur une mixité programmatique sur sa couverture et aux franges de l'infrastructure (bureaux, commerces, logements, etc.). Ce choix s'avère plus coûteux et bien loin d'amortir le coûts des ouvrages [1]

La déclinaison des fonctions filles relatives à la création de foncier aboutit assez logiquement à un nombre important de fonctions de contraintes reliant la couverture à l'ensemble des composants des espaces identifiés (Fig.5.15). Chacun des espaces est modélisé au niveau de granularité le plus fin. Cette précision permet de comprendre très finement la composition urbaine créée sur sur la couverture.

1. Propos recueillis lors d'une réunion CANOPEE en avril 2015. Il s'est animé entre des membres de la SEMAPA (AMO du projet de PRG) et Bert van Eekelen(ayant mené une étude approfondie sur le cas de Zuidas).



Fonctions de contraintes filles de FC02 : Créer du foncier à destination de l'espace mobile / Créer de l'espace mobile
- FC02-1 Créer du foncier à destination de réseaux piétons
- FC02-2 Créer du foncier à destination de réseaux TC
- FC02-3 Créer du foncier à destination de connexions multimodales
- FC02-4 Créer du foncier à destination de réseaux automobile
- FC02-5 Créer du foncier à destination de réseaux cycliste

Fonctions de contraintes filles de FC04 : Créer du foncier à destination de l'espace équipé / Créer de l'espace équipé
- FC04-1 Créer du foncier à destination d'équipements de services aux particuliers
- FC04-2 Créer du foncier à destination d'équipements liés à la santé
- FC04-3 Créer du foncier à destination d'équipements liés à l'enseignement
- FC04-4 Créer du foncier à destination d'équipements de sport loisir et culture
- FC04-5 Créer du foncier à destination de commerces
- FC04-6 Créer du foncier à destination de réseaux de gaz
- FC04-7 Créer du foncier à destination de réseaux d'assainissement
- FC04-8 Créer du foncier à destination de réseaux d'énergie
- FC04-9 Créer du foncier à destination de réseaux de déchets
- FC04-10 Créer du foncier à destination de réseaux de télécommunication
- FC04-11 Créer du foncier à destination de réseaux d'eau

Fonctions de contraintes filles de FC07 : Créer du foncier à destination de l'espace actif / Créer de l'espace actif
- FC07-1 Créer du foncier à destination de locaux et espaces agricoles
- FC07-2 Créer du foncier à destination d'industries
- FC07-3 Créer du foncier à destination de locaux d'activités de services aux particuliers
- FC07-4 Créer du foncier à destination de locaux d'activités de services aux entreprises
- FC07-5 Créer du foncier à destination de locaux d'activités « autres »
- FC07-6 Créer du foncier à destination de locaux d'activités financières et immobilières
- FC07-7 Créer du foncier à destination de locaux d'activités de transports
- FC07-8 Créer du foncier à destination de locaux d'activités relatives à l'éducation
- FC07-9 Créer du foncier à destination de locaux d'activités relatives à la santé

Fonctions de contraintes filles de FC08 : Créer du foncier à destination de l'espace habité / Créer de l'espace habité
- FC08-1 Créer du foncier à destination de logements principaux
- FC08-2 Créer du foncier à destination de logements occasionnels
- FC08-3 Créer du foncier à destination de logements secondaires
- FC08-4 Créer du foncier à destination de logements vacants

FIG. 5.15 – *Pieuvre de la fonction « Créer du foncier à destination des espaces »*

5.2.6.4 Assurer le confort des populations

La fonction « Assurer le confort des populations » se réfère à l'action du système permettant d'améliorer l'ambiance urbaine, de fournir un confort agréable pour les populations utilisatrices des différents espaces. Autrement dit, elle intervient sur le traitement de l'ambiance urbaine des différents environnements représentés. Pour cela, la fonction agit sur les nuisances et/ou gênes environnementales perçues : pollutions et inconforts sonores, vibratoires, visuelles et olfactives (Fig.5.16). Les nuisances considérées ici ne sont pas exclusivement générées par l'infrastructure de transport couverte, comme c'est le cas pour la fonction G2 (et l'ensemble de ses fonctions affiliées). Cette fonction s'attache à assurer un confort plus global sur le périmètre du système. De fait, elle prendra en compte également les nuisances générées au dessus et/ou sur les rives des voiries, si elles impactent l'ambiance et le confort des populations.

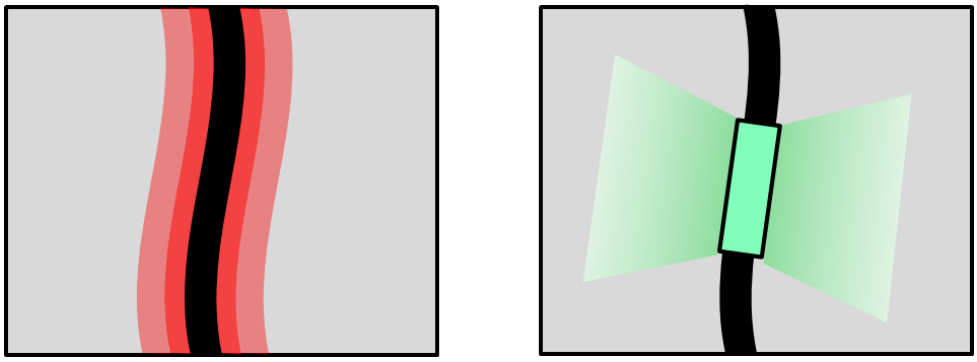


FIG. 5.16 – *Schématisation du groupe de fonctions « Assurer le confort des populations »*

La portée de cette fonction ne se concentre pas uniquement au niveau de l'ouvrage de couverture mais s'étend sur l'ensemble du périmètre du système.

La déclinaison de la fonction mère G3 « Assurer le confort des populations sur les différents espaces » ne mérite pas de décomposition fine du système. Il est d'ailleurs choisi de conserver le premier niveau de granularité pour la modélisation fonctionnelle. La précision doit cependant se faire, comme c'est le cas pour la fonction G2 « Réduire les nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport », sur la déclinaison des nuisances traitées. La fonction FC06 « Assurer le confort des populations sur l'espace actif » se décline en cinq fonctions de contraintes : la fonction FC06-1 « Assurer un confort acoustique sur l'espace actif », FC06-2 « Assurer une stabilité mécanique sur l'espace actif », FC06-3 « Assurer une qualité de l'air sur l'espace actif », FC06-4 « Assurer une qualité paysagère sur l'espace actif », et enfin la fonction FC06-5 « Générer une atmosphère accueillante sur l'espace actif ». Autrement dit, il s'agit de préciser pour chaque espace, si le confort est assuré en termes d'ambiance sonore, de stabilité mécanique, de qualité de l'air, de qualité paysagère en enfin de l'atmosphère générale. De fait, sur le graphique sont modélisées cinq fonctions de contrainte par type d'espace (Fig.5.17).

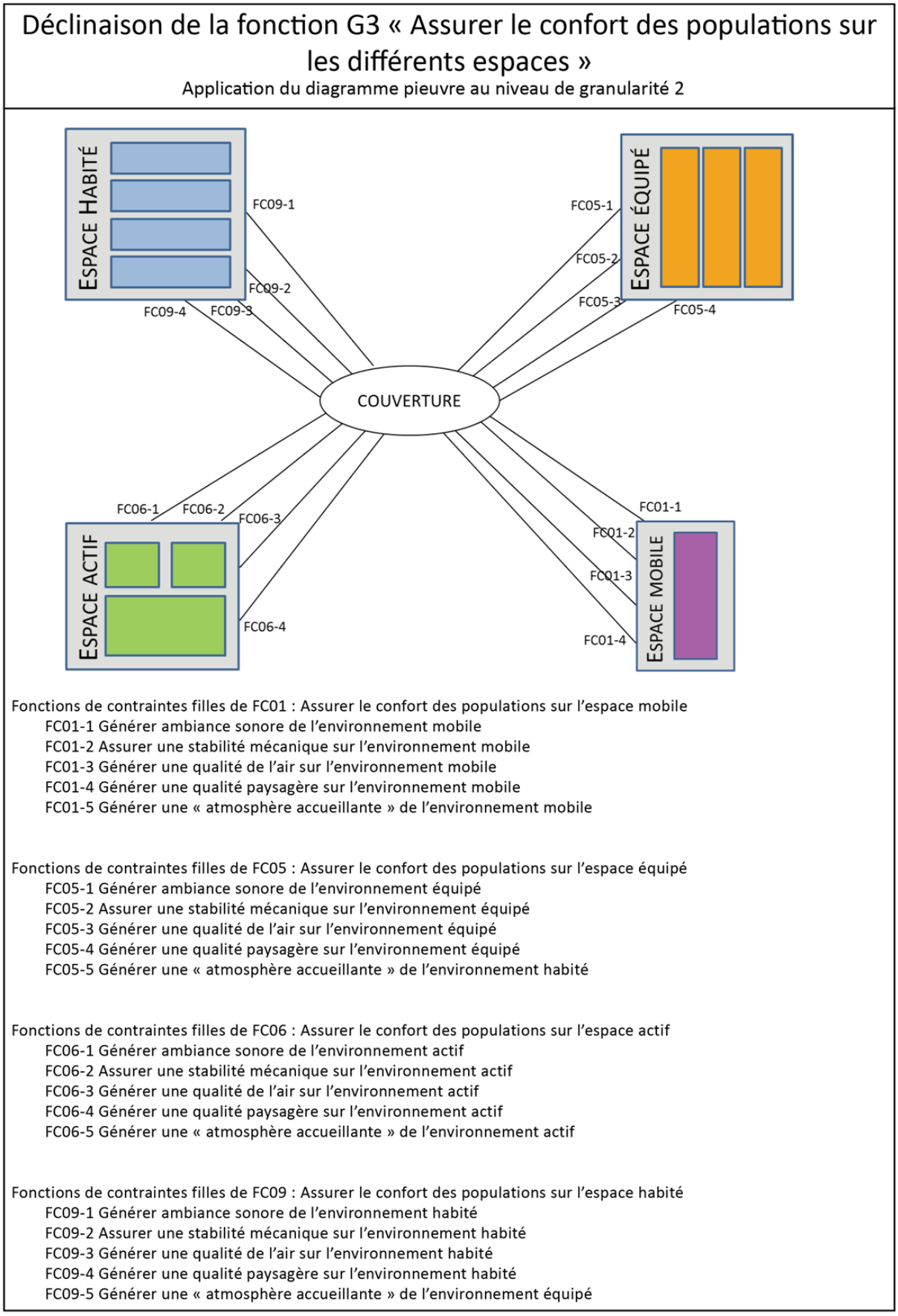


FIG. 5.17 – *Pieuvre de la fonction « Assurer le confort des populations sur les différents espaces »*

5.2.6.5 Assurer l'efficience de l'infrastructure

La fonction « Assurer l'efficience de l'infrastructure » correspond à l'action permettant de maintenir un fonctionnement convenable de l'infrastructure de transport. Le fait de couvrir un tronçon de voirie peut avoir des influences sur les conditions de circulation. En effet, cela peut donner lieu à un changement de luminosité, une réduction ponctuelle de la vitesse de circulation, ou encore à un rétrécissement de chaussée. Le fait de couvrir ayant pour but de réduire ou résoudre le conflit bilatéral entre infrastructure de transport et espace urbain traversé, il est donc nécessaire de veiller à minimiser l'impact de l'opération sur l'usage de la voie routière ou ferrée couverte. Le confort et la sécurité des usagers de l'infrastructure sont intégrés par les fonctions de contrainte FC06 « Assurer le confort des populations sur l'espace mobile ». Il s'agit plutôt ici d'assurer une fluidité de circulation (Fig5.18). Cela a même été revendiqué comme l'un des objectifs majeurs initiant le projet des Rondas de Barcelone. Le fait de couvrir permettait de redistribuer les flux de circulation automobile afin de décongestionner l'infrastructure de transport et ses abords. Le Big Dig de Boston constitue un autre exemple d'utilisation de la couverture pour séparer les mobilités locales des mobilités à plus grande échelle, de manière à fluidifier le trafic [Chandon and Ducourtieux, 2015a].

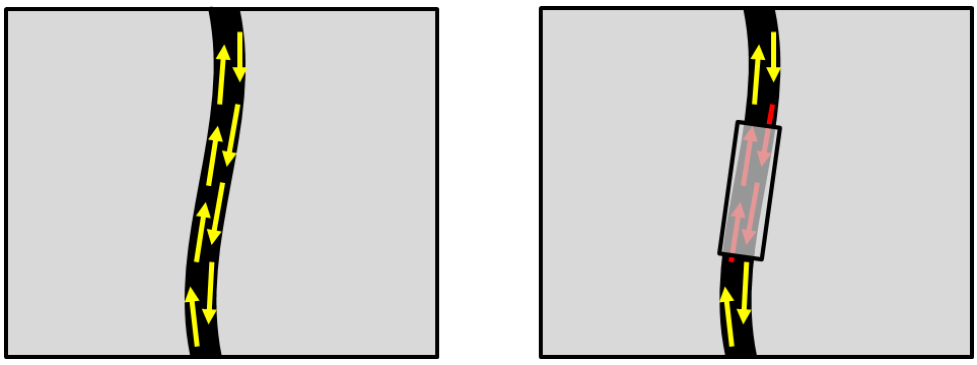


FIG. 5.18 – *Schématisation du groupe de fonctions « Assurer l'efficience de l'infrastructure »*

D'un point de vue méthodologique, cette fonction concerne deux éléments : « Réseau automobile » et « Réseau TC » composants de l'espace mobile. De fait, la fonction mère G5 « Assurer l'efficience de l'infrastructure » se décline en une fonction de contrainte fille : FC3 « Assurer l'efficience de l'infrastructure routière » reliant alors directement sur le diagramme pieuvre, la couverture au réseau automobile, et une seconde « Assurer l'efficience de l'infrastructure ferroviaire » en connectant cette fois ci, la couverture au réseau de transport en commun (Fig.5.19). L'une n'étant pas la déclinaison de l'autre, elles sont présentées au même niveau, comme des variantes d'une même fonction. Cependant, dans le cas où les deux types d'infrastructures (routières et ferroviaires) sont concernés par une même couverture, les deux variantes peuvent être réalisées à la fois. Le projet d'Amsterdam Zuidas illustre bien ce propos, puisque autoroute et voies ferrées circulent sous l'ouvrage.

Cette fonction n'est pas déclinée en actions plus précises comme cela a pu être fait sur d'autres fonctions. Le fait d'assurer l'efficience de l'infrastructure peut être conditionné par des normes de sécurité propres aux ouvrages de couverture, aux positionnement de points d'appuis, etc. Cette décomposition en actions plus précises relève donc de l'analyse fonctionnelle interne[2] de l'ouvrage.

2. Comme présenté précédemment, l'analyse fonctionnelle interne est menée par les sociétés d'ingénierie EGIS et

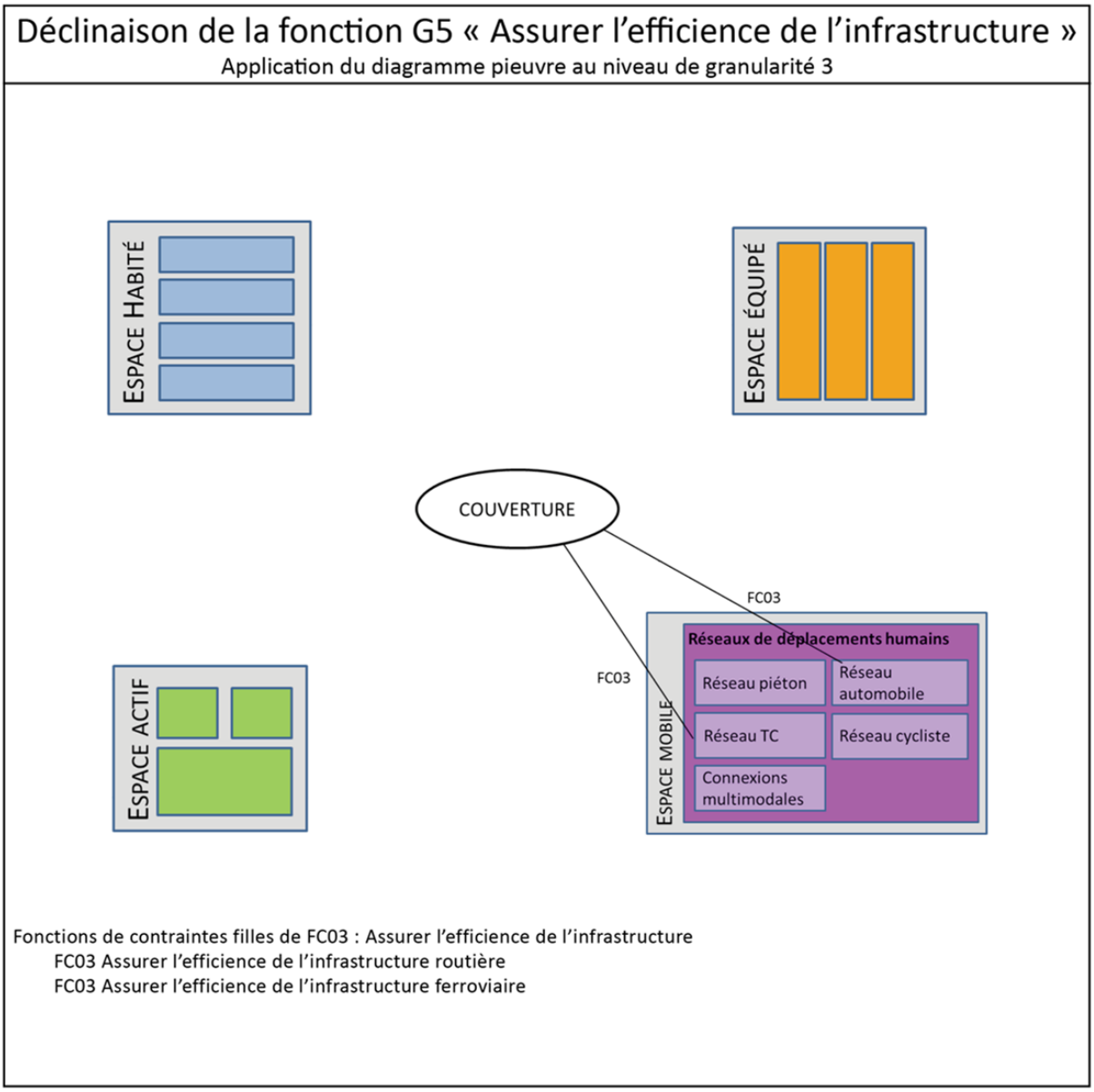


FIG. 5.19 – *Pieuvre de la fonction « Assurer l'efficience de l'infrastructure »*

5.2.7 Mise en place du jeu de fonctions et construction d'une grille

L'application de l'analyse fonctionnelle externe sur la couverture au sein du système décomposé au niveau de granularité le plus fin a conduit à l'identification de deux cent interactions entre les composants du système et la couverture. La méthode d'analyse fonctionnelle APTE assimile les interactions obtenues par l'outil pieuvre aux fonctions décrites par le système. Ainsi, on dispose bien d'un jeu de deux cent fonctions permettant de décrire finement le fonctionnement du système couverture (et de la couverture au sein du système).

ARCADIS dans le cadre du projet ANR CANOPEE [Moussard et al., 2015]. La liste de fonctions internes obtenues est répertoriée en Annexe C

Ces fonctions sont ensuite répertoriées dans une grille[3]. Cela permet notamment de concentrer l'ensemble de ces fonctions sur un même support et de pouvoir les organiser et exploiter au mieux ce résultat. Le tableau complet des fonctions est proposé en annexe de ce mémoire (cf. Annexe E).

La grille de fonctions ainsi établie finalise la description fonctionnelle du système urbain de couverture. On obtient un tableau à la fois global et précis sur le comportement de celui-ci et les processus interactifs qui l'animent. L'ensemble des fonctions déterminées et formalisées répond à la finalité initialement identifiée « Créer un service de conciliation urbaine ». A ce titre, l'ensemble des processus interactifs mis en place a pour but d'agir sur le conflit et plus particulièrement sur une ou plusieurs nuisances. Par exemple, la fonction « Protéger l'espace habité du bruit généré par l'infrastructure » va assez logiquement agir pour la réduction de la nuisance sonore, ou encore la fonction « Créer une proximité entre espace mobile et espace équipé. » va s'attacher au problème de coupure urbaine et éventuellement de l'entrave au développement urbain.

5.3 Structuration des fonctions : approche qualitative de l'évaluation des couvertures

5.3.1 Lecture de la grille de fonctions à travers des matrices d'interaction

Le jeu de fonctions ordonnées et hiérarchisées présente un premier aperçu global du fonctionnement du système urbain de couverture. Il en constitue un premier support d'évaluation qualitatif. Pour autant, il ne permet pas, dans sa forme actuelle de discerner les grandes tendances fonctionnelles du système. Autrement dit, le mode de représentation de type liste n'offre pas une intelligibilité immédiate du résultat et ne permet pas d'identifier d'éventuelles prédominances de certaines fonctions, ou organisations particulières entre elles.

Un travail de structuration s'impose alors. La méthode d'analyse fonctionnelle souligne l'intérêt de cette étape de structuration. Elle permet de faciliter la lecture de la grille de fonctions, et par la même, d'exploiter et analyser ce résultat afin d'en tirer des observations complémentaires. Nous proposons de procéder par le biais de matrices permettant de positionner chaque fonction au croisement des environnements qu'elle met en relation pour les fonctions principales (Tab.5.3), et au croisement d'un environnement et de l'ouvrage couverture pour les fonctions de contrainte (Tab.5.4). Une matrice est construite pour chaque fonction mère (fonction de rang 1) et regroupe ses fonctions filles de rang 2.

Dans la mesure où la fonction « Assurer l'efficience de l'infrastructure de transport » s'apparente à une action de préservation du niveau de circulation, de confort et de sécurité des usagers de la voirie sujette à couverture, il nous a paru pertinent de la considérer comme une fonction particulière déclinée de la fonction « Assurer le confort de la population mobile ».

3. La grille est présentée dans son intégralité en annexe de ce mémoire de thèse.

TAB. 5.3 – *Matrices des fonctions principales par espaces mis en interaction*

Créer une proximité entre les différents espaces

	Espace Mobile	**Espace Equipé**	**Espace Habité**	**Espace Actif**
Espace Mobile	FP06	FP05	FP01	FP03
Espace Equipé		FP12	FP08	FP10
Espace Habité			FP13	FP09
Espace Actif				FP11

Protéger les différents espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure

	Espace Mobile	**Espace Equipé**	**Espace Habité**	**Espace Actif**
Espace Mobile	FP07	FP14	FP02	FP04
Espace Equipé				
Espace Habité				
Espace Actif				

La construction de ces matrices présente une répartition plutôt équitable des fonctions au sein des différents environnements. L'un d'eux apparait néanmoins comme majoritairement concerné par les fonctions : l'environnement mobile. L'infrastructure de transport étant un élément composant l'espace mobile, et l'un des groupes de fonction s'attachant à « protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure », cette observation s'explique aisément. En effet, les fonctions répondent à une finalité consistant à servir la conciliation urbaine entre une infrastructure de transports et l'espace urbain traversé, justifie de fait l'importante orientation des fonctions à agir sur ou avec l'espace mobile.

5.3.2 Deux périmètres : deux niveaux d'action

L'identification des fonctions à fait apparaître que certaines fonctions ont pour périmètre d'action les limites de l'ouvrage de génie civil et d'autres s'expriment au sein de périmètre plus large du système urbain de couverture. Les fonctions « Créer du foncier », et « Protéger l'espace des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport », ainsi que l'ensemble de leurs déclinaisons respectives, s'établissent au niveau du périmètre de l'ouvrage. En effet, ces deux fonctions passent par l'action morphologique de la couverture. La création de l'interface (couverture) va tenir lieu de support aménageable, voire constructible, et d'écran protecteur pour la seconde.

Les fonctions « Créer une proximité entre les espaces », « Assurer le confort des populations », et leurs déclinaisons s'expriment quant à elles au sein du périmètre du système défini ici. Elles ont effectivement une portée plus programmatique que les précédentes dans le sens où elles agissent en

TAB. 5.4 – *Matrices des fonctions de contrainte par espace mis en interaction*

Créer du foncier

	Espace Mobile	**Espace Equipé**	**Espace Habité**	**Espace Actif**
Couverture	FC02	FC04	FC08	FC07

Assurer le confort des populations

	Espace Mobile	**Espace Equipé**	**Espace Habité**	**Espace Actif**
Couverture	FC01	FC05	FC09	FC06

Assurer l'efficience de l'infrastructure

	Espace Mobile	**Espace Equipé**	**Espace Habité**	**Espace Actif**
Couverture	FC03			

termes de composition de l'espace et d'ambiance urbaine globale.

Le système urbain de couverture fonctionne donc selon deux niveaux d'action correspondant aux fonctions effectives sur chacun des deux périmètres identifiés dans le chapitre précédent :

- un niveau morphologique
- un niveau programmatique

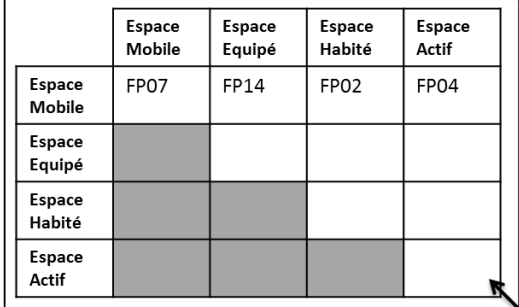
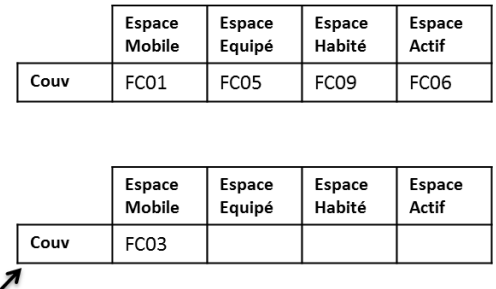
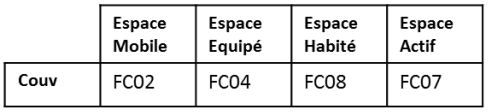
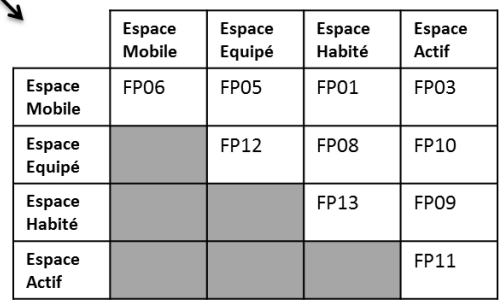
5.3.3 Deux types d'action des couvertures

Chaque fonction semble répondre à des nuisances, identifiées dans le chapitre précédent comme moyen d'expression de conflit du système. Il se distingue deux types de réponses. Le premier s'attache à la réduction des nuisances environnementales et des gênes qu'elles peuvent occasionner. Les fonctions « Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure » et « Assurer le confort des populations » sont associées à cette tâche. Elles agissent de fait en correction d'effets nuisibles à l'ambiance urbaine. Le second type d'actions répond aux nuisances de coupure, de consommation de l'espace et d'entrave au développement par le biais des fonctions « Créer une proximité entre les différents espaces » et « Créer du foncier ».

Ces deux types d'actions peuvent être assimilées à des fonctions génériques : « Corriger » et « Structurer ». Il est intéressant de souligner que chacun de ces deux types est représenté par les fonctions du système urbain de couverture au niveau d'action morphologique et programmatique.

Ces deux observations sur la spécification et l'organisation des fonctions par type et niveau d'action vont permettre la construction d'une matrice organisatrice du jeu de fonctions (Tab.5.5). Le but de celle-ci est de faire apparaitre de manière plus immédiate que la grille obtenue plus haut un aperçu global du fonctionnement du système, et éventuellement des tendances remarquable dues à la présence plus marquée pour un certain type d'actions ou encore la sous-représentation d'un niveau de fonction.

TAB. 5.5 – *Positionnement des matrices de fonctions principales et de contrainte dans le croisement niveaux d'action par type d'action*

	NIVEAU D'ACTION MORPHOLOGIQUE	NIVEAU D'ACTION PROGRAMMATIQUE
CORRIGER		
STRUCTURER		

Il est intéressant de procéder au croisement des niveaux d'actions et des fonctions génériques de la couverture dans son système. Il apparait alors que l'action de corriger réunit les fonctions principales de l'action de la couverture au niveau morphologique, alors que la structuration y est représentée par les fonctions de contrainte. Le fait de corriger, autrement dit d'agir sur les nuisances environnementales (bruit, pollution atmosphérique, intrusion paysagère et vibrations mécaniques), a une portée très locale. La fonction FP02 par exemple « protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure » formalise une action très ciblée. La fonction de contrainte FC9 « Assurer le confort des populations sur l'espace habité » fait écho à la première (FP02) mais concerne une ambiance urbaine plus générale à tenir pour que l'exécution de la fonction principale est un sens. L'exemple de la couverture de Porte des Lilas permet d'illustrer ce propos. La couverture lourde agit entre autre pour contenir le bruit émanant de la circulation sur le boulevard périphérique parisien. Cependant, le traitement urbain au dessus de l'ouvrage a conduit à la création d'un hub de transports ainsi que l'implantation d'équipements culturels. Cela crée finalement une ambiance acoustique très marquée par la circulation et la fréquentation de l'espace. A l'inverse, les fonctions principales participant à la structuration de l'espace se réalisent au niveau programmatique.

L'action de structurer se traduit au niveau morphologique par des fonctions de contrainte. Le fait de structurer l'espace implique nécessairement une échelle bien plus large que le périmètre de l'ouvrage. Cette action générique peut cependant être conditionnée par une action locale visant à la réduction de la coupure. Ainsi, la fonction FP5 « créer une proximité entre espace mobile et espace équipé » qui peux avoir une portée spatiale assez large en fonction de l'équipement considéré, peut être conditionner par les fonctions de contrainte FC2 « créer du foncier à destination de l'espace mobile » et FC4 « créer du foncier à destination de l'espace équipé ».

Pour créer un service de conciliation urbaine, le système urbain de couverture conduit donc, d'une part, une action morphologique locale à l'échelle de l'ouvrage, à la fois sur les nuisances environnementales et sur les nuisances de coupure et d'entrave au développement, et d'autre part une action programmatique, à la portée plus large sur ces mêmes nuisances. Ce croisement par type d'actions et niveaux d'actions permet de dévoiler les tendances fonctionnelles du système, et précise ainsi le modèle en organisant les fonctions fille obtenues de l'application de l'analyse fonctionnelle sur le système décomposé au niveau de granularité le plus fin (Tab.5.6). Pour chaque fonction est alors attribué un type et un périmètre d'action.

TAB. 5.6 – *Matrice synthétique des fonctions*

		NIVEAU D'ACTION MORPHOLOGIQUE	NIVEAU D'ACTION PROGRAMMATIQUE
CORRIGER	ESPACE MOBILE	FP07, FP14, FP02, FP04	FC01, FC03
	ESPACE EQUIPÉ	FP14	FC05
	ESPACE HABITÉ	FP02	FC09
	ESPACE ACTIF	FP04	FC06
STRUCTURER	ESPACE MOBILE	FC02	FP06,FP05, FP01, FP03
	ESPACE EQUIPÉ	FC04	FP05, FP12, FP08, FP10
	ESPACE HABITÉ	FC08	FP01, FP08, FP13, FP09
	ESPACE ACTIF	FC07	FP03, FP10, FP09, FP11

Si la précision conférée par les fonctions de rang 3 permet de faciliter l'évaluation de chacune d'elle, elles apportent du bruit au sein d'une matrice organisatrice de ce type (Tab.5.7). En effet, les

TAB. 5.7 – *Matrice synthétique des fonctions déclinées au rang 3*

		NIVEAU D'ACTION MORPHOLOGIQUE	NIVEAU D'ACTION PROGRAMMATIQUE
CORRIGER	EM	FP07-1, FP07-2, FP07-3, FP07-4 FP14-1, FP14-2, FP14-3, FP14-4 FP02-1, FP02-2, FP02-3, FP02-4 FP04-1, FP04-2, FP04-3, FP04-4	FC01-1, FC01-2, FC01-3, FC01-4, FC01-5 FC03 ?
	EE	FP14-1, FP14-2, FP14-3, FP14-4	FC05-1, FC05-2, FC05-3, FC05-4, FC05-5
	EH	FP02-1, FP02-2, FP02-3, FP02-4	FC09-1, FC09-2, FC09-3, FC09-4, FC09-5
	EA	FP04-1, FP04-2, FP04-3, FP04-4	FC06-1, FC06-2, FC06-3, FC06-4, FC06-5
STRUCTURER	EM	FC02-1, FC02-2, FC02-3, FC02-4, FC02-5	FP06-1, FP06-2, FP06-3, FP06-4, FC01, FC02, FC03, FC04, FC05, FC06, FC07, FC08, FC09, FC10, FC11, FP05-1, FP05-2, FP05-3, FP05-4, FP05-5, FP05-6, FP05-7, FP05-8, FP05-9, FP05-10, FP05-11, FP05-12, FP05-13, FP05-14, FP05-15, FP05-16, FP05-17, FP05-18, FP05-19, FP05-20, FP01-1, FP01-2, FP01-3, FP01-4 FP03-1, FP03-2, FP03-3, FP03-4
	EE	FC04-1, FC04-2, FC04-3, FC04-4, FC04-5, FC04-6, FC04-7, FC04-8, FC04-9, FC04-10, FC04,11, FC04-12	FP05-1, FP05-2, FP05-3, FP05-4, FP05-5, FP05-6, FP05-7, FP05-8, FP05-9, FP05-10, FP05-11, FP05-12, FP05-13, FP05-14, FP05-15, FP05-16, FP05-17, FP05-18, FP05-19, FP05-20, FP12-1, FP12-2, FP12-3, FP12-4, FP12-5, FP12-6, FP12-7, FP12-8, FP12-9, FP12-10, FP12-11, FP12-12, FP08-1, FP08-2, FP08-3, FP08-4, FP08-5, FP08-6, FP08-7, FP08-8, FP08-9, FP08-10, FP08-11, FP08-12 FP10-1, FP10-2, FP10-3, FP10-4, FP10-5, FP10-6, FP10-7, FP10-8, FP10-9, FP10-10, FP10-11, FP10-12
	EH	FC08-1, FC08-2, FC08-3, FC08-4	FP01-1, FP01-2, FP01-3, FP01-4, FP08-1, FP08-2, FP08-3, FP08-4, FP08-5, FP08-6, FP08-7, FP08-8, FP08-9, FP08-10, FP08-11, FP08-12, FP13-1, FP09-1, FP09-2, FP09-3, FP09-4, FP09-5, FP09-6, FP09-7, FP09-8, FP09-9, FP09-10
	EA	FC07-1, FC07-2, FC07-3, FC07-4, FC07-5, FC07-6, FC07-7, FC07-8, FC07-9, FC07-10	FP03-1, FP03-2, FP03-3, FP03-4, FP10-1, FP10-2, FP10-3, FP10-4, FP10-5, FP10-6, FP10-7, FP10-8, FP10-9, FP10-10, FP10-11, FP10-12, FP09-1, FP09-2, FP09-3, FP09-4, FP09-5, FP09-6, FP09-7, FP09-8, FP09-9, FP09-10, FP11-1

conclusions tirées à l'issue de la construction de celle-ci reposent principalement sur le nombre de fonctions représentées dans telle ou telle case. Or la déclinaison des fonctions de rang 3 s'est faite d'une part sur la base d'une décomposition structurale des composants du système concernant deux d'entre elles (le nombre de sous composants par espace spécifié étant différent, la comparaison n'a pas de sens) et d'autre part sur les quatre nuisances environnementales identifiée dans le conflit entre infrastructure de transport et espace urbain pour les autres. Cette disparité ne permet donc pas de comparer les différents niveaux d'action ou type d'action en fonction des espaces concernés.

5.3.4 Un rôle prépondérant de structuration à l'échelle du projet

Les matrices précédentes permettent de déceler, quelque soit le rang de granularité, une prépondérance fonctionnelle de la couverture d'infrastructure de transport. En effet, il en ressort qu'une grande majorité des fonctions appartient au type d'action relatif à la structuration de l'espace sur un niveau programmatique. (Fig.5.20).

Ce résultat révèle un fort positionnement fonctionnel du système urbain de couverture en réponse à la coupure générée par la traversée de l'infrastructure de transport au sein d'un milieu urbain. Les diagrammes issus des matrices sur cette figure, clarifient encore la répartition des fonctions. Ils représentent le nombre de fonctions réparties selon leur type et leur niveau d'actions. Si certaines fonctions

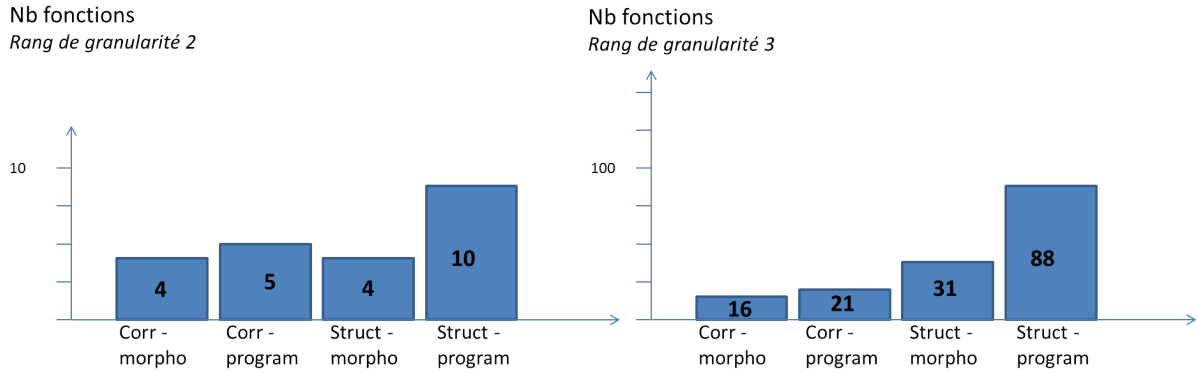


FIG. 5.20 – *Diagrammes du nombre de fonctions par type de fonction et niveaux d'action*

principales apparaissent en double dans les matrices, elles n'apparaissent dans ces digrammes qu'en un seul exemplaire. Cette simplification est possible puisque les doublons se présentaient constamment dans les mêmes « cases ». Au rang de granularité 2, comme au rang 3, les fonctions de structuration au niveau programmatique sont majoritairement représentées. Concernant le rang 2, ces fonctions représentent au minimum le double des effectifs de chacune des trois autres catégories. Pour le rang 3, l'écart est encore plus marquée puisque 88 fonctions correspondent à l'action de structuration au niveau programmatique contre 31 de structuration au niveau morphologique, 21 pour la correction au niveau programmatique et enfin 16 au niveau morphologique. Ces résultats confèrent une portée très urbaine à l'ouvrage et confirme tout l'intérêt de travailler en se référant à un système urbain plus large. Le système urbain de couverture mène alors une action fortement orientée vers la résorption de l'effet de coupure, la reconquête et le renouvellement urbain.

Cette observation concerne les cas de couvertures lourdes. Cette prédominance ne se confirme néanmoins plus pour les ouvrages à structures légères qui ne rétablissent pas de couture exploitable pour l'activité humaine (la résorption de la coupure via ce type d'ouvrage peut cependant se faire d'un point de vue écologique et environnementale en fonction de son traitement[4]). En effet, si les couvertures légères participent fortement à la correction des nuisances environnementales locales elles ne participent pas à la structuration de l'espace. Les matrices proposées dans ce chapitre appliquées à ces ouvrages légers sont donc tronquées de l'action « structurer » et de fait des fonctions qui lui sont associées.

Cette prédominance permet de déduire un fort mécanisme mis en place pour traiter la problématique de coupure. Pour autant, les autres fonctions n'en sont pas moins importantes, le mécanisme établi par le système est seulement moins nombreuses en termes d'actions. Par ailleurs, si la coupure est fortement mise en avant dans une majorité des cas, elle ne constitue pas dans tous les cas l'essence du conflit et de fait ne nécessite pas de traitement particulier sur ce point. Tout dépend du contexte du cas étudié.

4. Le projet CANOPEE prévoit un volet particulier à ce sujet. L'école TECOMAH s'est intéressée notamment au traitement végétal des ouvrages de couverture et aux continuités écologiques qui en découlent.

5.4 Réflexion sur une évaluation quantitative des couvertures d'infrastructure

5.4.1 Intérêt de l'évaluation quantitative

La méthode permet de mettre en évidence l'ensemble des fonctions potentiellement remplies par la couverture dans son système. Autrement dit, il s'agit de se référer à sa composition pour déterminer de fait les interactions qui pourront, ou ne pourront pas, avoir lieu. Finalement, cette démarche permet d'évaluer le potentiel fonctionnel du système. Or celui-ci peut s'avérer très différent du fonctionnement réellement en œuvre. Une fonction affichée comme potentiellement accomplie, peut en réalité être assurée pleinement, pour partie, ou encore pas du tout. Par exemple, sur la couverture de Gennevilliers (couverture de l'autoroute A86), la fonction « Assurer la continuité du réseau piéton », apparait, après évaluation qualitative, comme effective. En effet, un cheminement doux est présent au dessus de la couverture, et permet *a priori* de rallier les réseaux prévus pour le déplacement piétonnier sur chaque rive de l'infrastructure. Le système urbain de couverture sur Gennevilliers présente donc le potentiel pour remplir cette fonction. Pourtant, la réalisation de cette action ne semble pas si évidente en pratique. La figure suivante (Fig.5.21) est une photographie aérienne centrée sur la couverture de Gennevilliers et montre le tracé des cheminements piétons, automobiles et TC, au dessus de la couverture et à ses abords immédiats. Le tracé du réseau de déplacement doux (en violet sur la figure) sur la couverture semble déconnecté de ce même réseau sur les rives de l'infrastructure. Dans un premier temps sur la rive ouest (orientée en haut sur la figure) le tracé des rues présente peu de correspondances entre celui des allées dessinées sur la couverture, limitant ainsi la continuité. Les cercles rouges matérialisent ce manque de cohérence. Sur la rive est, la couverture est bordée par un parc qui est en fait clôturé. Un seul accès à cet espace vert existe et ne coïncide pas réellement avec les cheminements sur l'ouvrage. Par ailleurs, l'espace au dessus de la couverture est longé, sur l'ensemble de son contour, par des voies destinées à l'usage motorisé. Cela accentue encore le manque de continuité du réseau piéton par la couverture. Une visite de terrain a d'ailleurs confirmé cette observation puisque peu de population mobile (piétonne) utilise cet espace qui leur est dédié sur la couverture. La fonction en question présente donc une effectivité partielle.

Les fonctions « Assurer la continuité du réseau automobile » et « Assurer la continuité du réseau TC » disposent également du potentiel d'accomplissement dans ce système. Elles s'avèrent en revanche plus effectives que la précédente. En effet, par exemple au nord de la couverture (à droite sur la figure), une voie à destination du Tramway (matérialisée par une flèche verte) permet la traversée de l'autoroute A86. De la même manière, l'espace sur la couverture supporte plusieurs tronçons de voiries dédiées au déplacement automobile(en noir sur la figure). Le raccordement entre les voies aux rives de l'infrastructure et sur l'ouvrage se fait sans irrégularité. Les connexions de ces tracés, que ce soit pour le réseau routier ou guidé, semblent donc participer à la continuité de ces réseaux de déplacement.

Cette observation illustre parfaitement le besoin de compléter le résultat obtenu par une évaluation qualitative avec un moyen permettant d'apporter une précision sur la manière dont la fonction est remplie et/ou sur son taux d'accomplissement. Pour cela, il est proposé de procéder par le biais

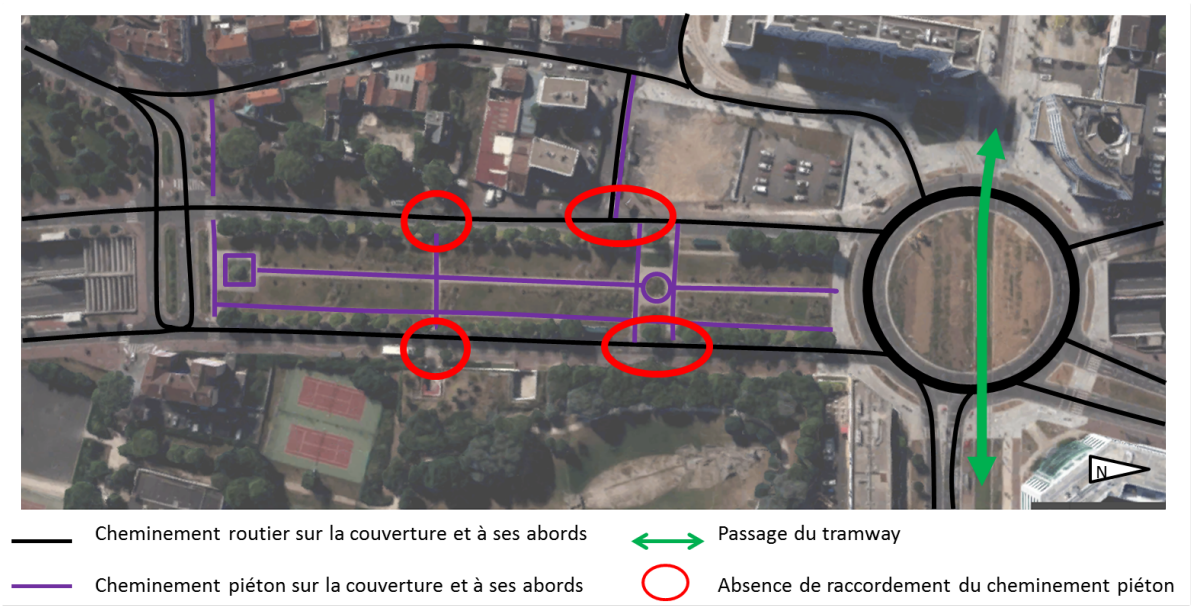


FIG. 5.21 – *Continuité des réseaux sur la couverture de Gennevilliers*

de critères et d'indicateurs assignés à chaque fonction de la grille. Ce travail s'apparente à la phase d'évaluation quantitative de la couverture dans son système urbain.

5.4.2 Formalisation des critères et indicateurs

L'objectif consiste à déterminer des critères et indicateurs pour chacune des fonctions identifiées via la méthode APTE pour les couvertures d'infrastructures dans l'espace urbain. Le schéma ci-dessous[5] (Fig.5.22), représente la démarche à adopter pour aborder l'évaluation quantitative du fonctionnement des couvertures au sein de leur système urbain. Plus concrètement, le fonctionnement d'une couverture au sein de son système se traduit par différentes fonctions. Celles-ci sont les éléments supports pour mener l'évaluation. Ainsi, à chacune d'entre-elles sont assignés des critères. Amor Laaribi définit le critère comme étant « un facteur de jugement sur la base duquel on mesure et on évalue une action » [Laaribi, 2000]. Il s'agit donc de déterminer les éléments qui caractérisent une fonction et sur lesquels un jugement peut être porté. Puis un ou plusieurs indicateurs sont affectés à chaque critère afin de donner le moyen d'observer et d'évaluer l'effectivité des fonctions. L'ensemble des informations recueillies sont enfin capitalisées pour composer ce qui est appelé ici le « tableau de bord ». Il s'agit de disposer d'un support de travail pour conduire une évaluation globale et multicritère d'un système urbain de couverture.

Il convient donc de procéder de cette manière avec les fonctions identifiées dans ce travail de recherche (Fig.5.23). Dans le cas de la fonction « Assurer le confort des populations », l'action peut être caractérisée par différents types de critères dont les critères de confort, par exemple. Parmi eux, celui du confort sonore qui va plus particulièrement se rapporter aux fonctions filles de celle-ci,

5. Ce schéma est inspiré du travail de Katia Laffréchine et des réflexions menés dans le cadre du projet de recherche MUEDD

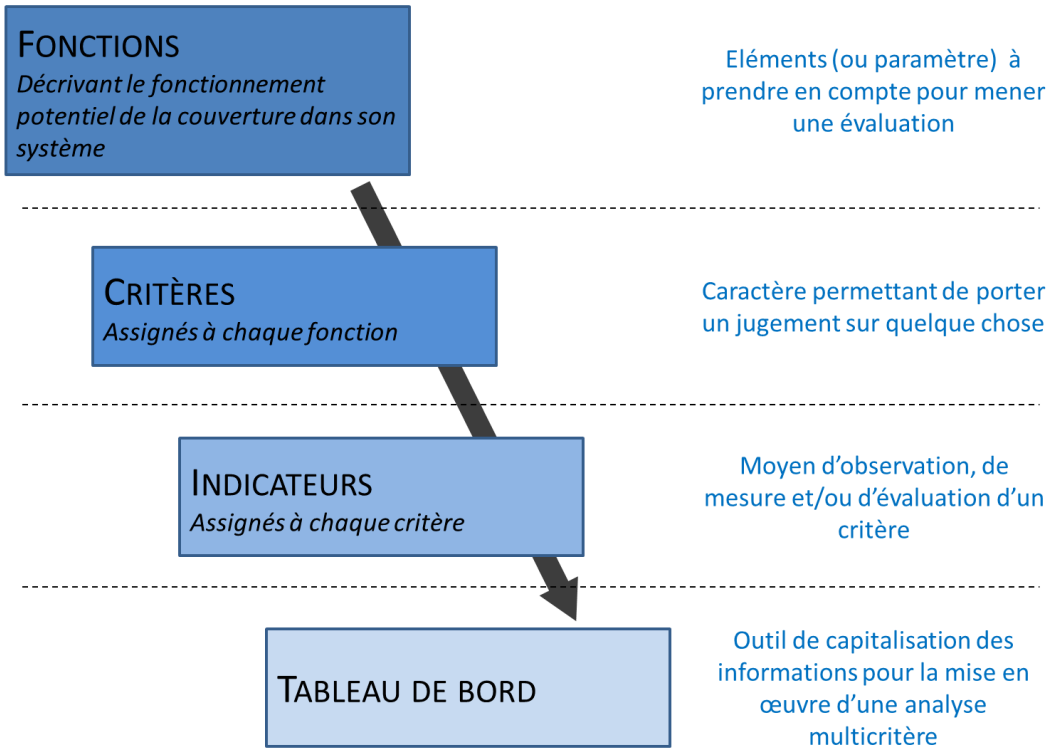


FIG. 5.22 – *Détermination des critères et indicateurs pour chaque fonction*

plus spécifiquement relatives bruit (à un niveau de granularité plus fin). Des indicateurs permettant d'observer et de mesurer ce type de confort sont alors identifiés : le niveau sonore, la source de bruit, la typologie du bruit et la temporalité du bruit en sont quelques exemples. La figure propose l'application de cette démarche de détermination de critères et d'indicateurs sur une seconde fonction « Créer une proximité entre les différents espaces ». Les critères de continuité permettent de caractériser cette action. L'exemple du franchissement de l'infrastructure par un flux, dont l'observation et l'appréciation va permettre d'apporter un jugement sur la mise en proximité annoncée par la fonction, est illustré. Plusieurs indicateurs sont proposés comme l'indicateur d'effet de barrière, développé par le Danois Vejdirekoratet ou encore le nombre de franchissements possibles par flux et sur un tronçon d'infrastructure donné. Tout comme la fonction relative au confort, il convient ici de travailler sur des fonctions à un niveau de granularité plus fin, de manière à spécifier le flux concerné par le franchissement et d'y appliquer les indicateurs appropriés. Certains d'entre eux sont effectivement propres à un mode déplacement comme le *Pedestrian Environmental Factor* qui comme son intitulé l'indique, s'applique exclusivement à la circulation piétonne.

5.4.3 Construction d'un catalogue de fonctions et critères associés

La capitalisation de ces informations se concrétise par le biais de la construction d'un catalogue de fonctions. Celui-ci doit constituer le tableau de bord pour l'évaluation mutlicritère à venir. Pour chaque fonction est élaborée une fiche d'évaluation (Tab.5.8). Il y est exposé la description, l'affiliation et la spécification de chaque fonction, ainsi que les possibilités d'évaluation.

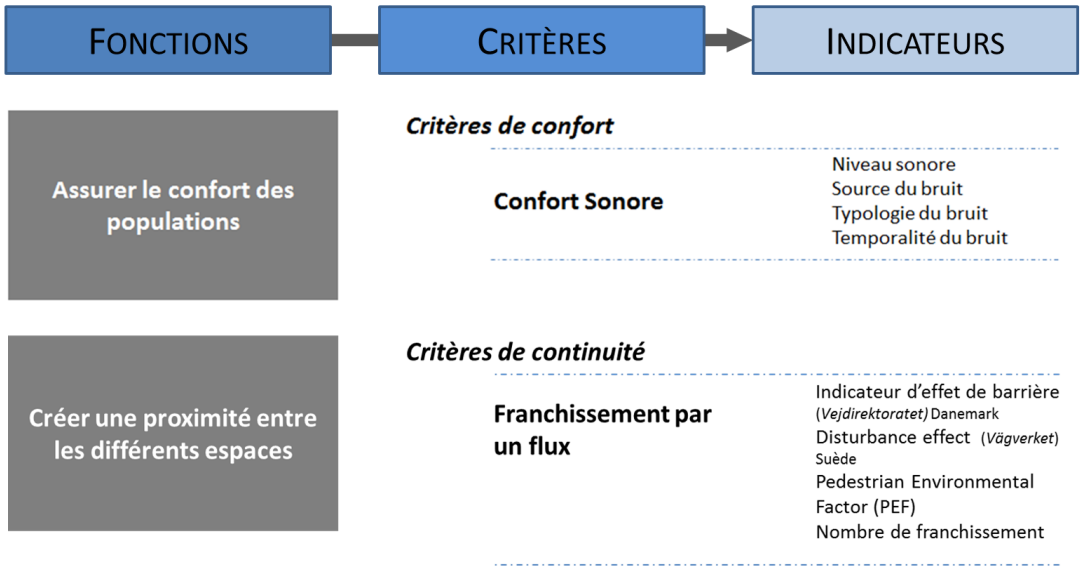


FIG. 5.23 – *Exemple d'assignation de critères et d'indicateurs à deux fonctions*

TAB. 5.8 – *Trame de fiche d'évaluation de fonctions*

Identifiant et intitulé de la fonction		Niveau de granularité
Id. Fonction mère	Intitulé de la fonction mère	
Id. Fonction(s) Fille(s)	Intitulé(s) de la (ou les) fonction(s) fille(s)	
Description :		
Echelle(s) d'action :		
Nuisance(s) et/ou gêne(s) traitées :		
Evaluation :		
Références :		

Cette fiche se présente sous la forme d'un tableau et commence par indiquer l'identifiant et l'intitulé de la fonction à évaluer. Il est également rappelé le niveau de granularité de la fonction. Sont ensuite exposées la fonction mère et les fonctions filles. il s'agit d'apporter des précisions sur les relations d'affiliation de la fonction. Cet aspect est essentiel car certaines évaluations nécessitent de se porter sur des fonctions à un niveau de granularité plus fin (les fonctions filles), comme il l'a été soulevé pour la fonction « Assurer le confort des populations ». En effet, le résultat de l'évaluation de cette action se traduit plutôt par l'agrégation des résultats d'évaluation de ces fonctions filles.

Une description rapide de la fonction est alors apportée. Celle-ci doit permettre de comprendre facilement sur quoi elle porte, et quels éléments elle fait interagir.

La fiche prévoit ensuite de renseigner l'échelle d'action : Il s'agit de déterminer à quelle échelle

l'action s'effectue et à quelle(s) échelle(s) elle présente d'éventuels impacts. Deux échelles spatiales sont retenues :

- l'échelle génie civil, suivant un périmètre structurel de la couverture.
- l'échelle du système urbain de couverture.

Elles consistent à déterminer le niveau d'action de la fonction : morphologique (une action à l'échelle du périmètre structurel) ou programmatique (une action à l'échelle du système).

Chaque fonction de la couverture dans son système doit participer à la réalisation de la finalité « Créer un service de conciliation urbaine ». Autrement dit, elle doit avoir un rôle dans la réduction ou la suppression du conflit. Pour cela, il est important de préciser les nuisance(s) ou gêne(s) concernées. Cette rubrique va servir à mettre en lien le travail effectué par ailleurs sur le processus nuisance/gêne effectif dans notre environnement d'étude. Les nuisances et gênes qui seront évoquées sont celles qui ont été identifiées dans les modèles conceptuels comme expression du conflit de cohabitation urbaine entre infrastructure de transport et espace urbain du dessus. Cette information est essentielle pour positionner la fonction vis-à-vis du système.

Une fois la fonction bien définie, il convient de s'intéresser aux moyens d'évaluation. Cette catégorie consiste à faire le point sur les possibilités d'évaluation de cette fonction et de pointer des exemples d'indicateurs existants. Il y est recensé, expliqué et illustré, les critères et indicateurs associés. Il n'est pas question ici de choisir les critères et indicateurs ou de les hiérarchiser. Certains vont parfois être redondants. Le but de cette rubrique est bien de proposer un tableau de bord, une capitalisation des possibilités d'évaluation. Le travail de positionnement et de choix des critères s'effectuera lors d'une prochaine étape de l'évaluation. Chacun des indicateurs proposés sont ensuite référencés rigoureusement.

Le tableau suivant propose un exemple de fiche du catalogue d'évaluation des couvertures appliqué à la fonction « Créer une proximité entre l'espace mobile et l'espace mobile / Créer une continuité des réseaux » (Tab.5.9)[6]. Cette fonction a pour identifiant FP06 et se détermine à second rang de granularité (sur trois). Elle est la déclinaison de la fonction mère G1 « Créer une proximité entre les différents espaces », et donne lieu à quinze fonctions filles. Ces dernières correspondent à la mise en continuité des différents réseaux (une fonction par réseau) et la mise en connexion des différents réseaux (relation entre chaque réseau de déplacement humain avec une connexion multimodale). Il s'agit d'une action s'effectuant au niveau programmatique et qui s'attache à la réduction de la coupure, de la discontinuité des réseaux ou encore des entraves dans les déplacements. Dans la rubrique d'évaluation, il est proposé de s'attacher à un critère de continuité et d'employer un indicateur de porosité par exemple. Il ne s'agit évidemment pas des seuls critères et indicateurs. La fiche proposée constitue un extrait permettant de comprendre la façon d'alimenter le catalogue actuellement en

6. La construction de cette fiche s'est appuyée sur les travaux de Frédéric Héran [Héran, 2011a], Luc Adolphe [Adolphe, 2001] et Bernardo Secchi [Secchi and Vigano, 2009]

cours d'élaboration.

Ce catalogue a pour but de répertorier et de décrire l'ensemble des fonctions identifiées. L'idée est de pouvoir se référer rapidement à une fonction, de la comprendre et de faire le lien avec l'ensemble des fonctions qui lui sont apparentées.

Ce positionnement représente une très grande quantité de travail. Dans le cadre du projet CANOPEE une vaste campagne de recherche bibliographique a été initiée sur les indicateurs existants. Elle a été menée au labortoire Lab'Urba par des stagiaires du département Génie Urbain [Marie, 2015], [Koubar, 2015]. Ce travail a été initié la deuxième année du projet CANOPEE. Malgré cette anticipation, toutes les fonctions formalisées n'ont pas une proposition de critères et indicateurs permettant une appréciation, voire une évaluation.

Un second travail sur les critères et indicateurs a été mené en parallèle de l'élaboration de ce catalogue. Il a été entrepris par Audrey Serafin dans le cadre de son stage de master au département génie urbain [Serafin, 2015]. Il s'agit de fiches descriptives d'indicateurs. Chacun des indicateurs exploré se réfère à une fonction de la couverture dans son système. Un exemple de la description de l'indicateur est présenté le tableau suivant (Tab.5.10). Cette fiche s'attache à l'expression et l'étude de l'indicateur de *proximité fonctionnelle*. Il s'agit d'une « grandeur décrivant l'optimisation des déplacements d'une situation précise entre l'espace habité et les commerces ». L'ensemble des champs suivants permettent d'apporter les éléments pour comprendre et appliquer cet indicateur.

TAB. 5.9 – *Exemple de fiche appliquée à la fonction « Créer une proximité entre l'espace mobile et l'espace mobile / Créer une continuité des réseaux »*

FP06 - Créer une proximité entre espace mobile et espace mobile / Créer une continuité des réseaux	Granularité 2
G1	Créer une proximité entre les différents espaces
FP06-1	Créer une proximité entre réseau piéton et d'autres réseaux (connexion multimodale)
FP06-2	Créer une proximité entre réseau automobile et d'autres réseaux (connexion multimodale)
FP06-3	Créer une proximité entre réseau TC et d'autres réseaux (connexion multimodale)
FP06-4	Créer une proximité entre réseau cycliste et d'autres réseaux (connexion multimodale)
FC01	Assurer la continuité du réseau de transport en commun
FC02	Assurer la continuité du réseau piéton
FC03	Assurer la continuité du réseau cycliste
FC04	Assurer la continuité du réseau automobile
FC05	Assurer la continuité du réseau d'énergie
FC06	Assurer la continuité du réseau de communication
FC07	Assurer la continuité du réseau de gaz
FC08	Assurer la continuité du réseau d'eau
FC09	Assurer la continuité de réseau de déchets
FC010	Assurer la continuité du réseau d'assainissement
FC011	Assurer une continuité des autres réseaux

Description : Fonction traduisant une action de réduction de la coupure vis-à-vis des réseaux viaires et techniques.

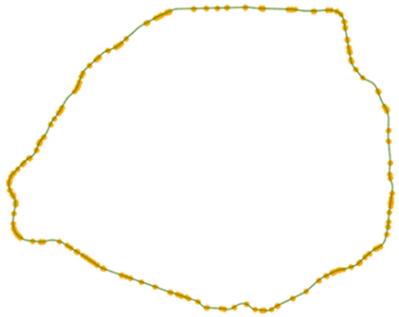
Echelle(s) d'action : Echelles de la couverture, du projet d'aménagement, du déplacement (régional)

Nuisance(s) et/ou gêne(s) traitées : Coupure, discontinuité des réseaux, réduction de l'accessibilité, entrave dans les déplacements

Evaluation : Deux échelles d'évaluation de cette réduction de coupure de réseau. La première est une échelle locale (périmètre projet), la seconde se rapporte au linéaire dessiné par l'infrastructure.

Echelle locale :
L'évaluation s'effectue plus finement en prenant en compte la possibilité de franchissement et la cohérence de raccordement entre les réseaux. Ainsi, il faut se référer à l'évaluation des fonctions à un rang suivant concernant la porosité locale.

Echelle de l'infrastructure :
Une porosité globale du linéaire
Une répartition pour signaler les endroits plus « cousu » que les autres



Exemple du périphérique parisien

Cette représentation ne se préoccupe pas des types de flux. Il serait néanmoins intéressant de faire la déclinaison.

Porosité pour quels utilisateurs ? Il faudra, si cette méthode est choisie, caractériser le type de flux circulant sur ces coutures

Une formule de la porosité possible :

$$r_h = \frac{lh}{1+h}$$

$$P_o = \frac{\sum_{\text{open spaces}} \pi r_{hi}^2 L_i}{\sum_{\text{open spaces}} V_i + \sum_{\text{built}} V_j}$$

rh : rayon hydraulique (que l'on peut apparenter la porosité),
h : hauteur moyenne de la canopée urbaine,
l : largeur moyenne de la rue.
P0 : porosité.
Considérons :
i : un espace libre,
Li : la largeur de l'espace,
Vi : le volume de la canopée au-dessus de i,
Vj : le volume bâti dans l'espace i.

D'autres paramètres entrent en jeu ...

Références :

Héran F., 2011, *La ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain.*, Ed. Economica, Collection « Méthodes et Approches », 217p.
Adolphe, L, 2001, *A simplified model of urban morphology application to an analysis of the environmental performance of cities.*
Secchi B. et Vigano P., 2009, *La ville poreuse de Bernardo Secchi et Paola Vigano.* Présenté lors des jeudis de l'architecture, disponible sur www.plainecommune.fr
Travaux de B. Secchi et P. Vigano sur le Grand Paris et leur concept de ville poreuse

TAB. 5.10 – *Exemple d'une fiche de description d'indicateur [Serafin, 2015]*

G1 FP08-1	Créer une proximité entre l'espace habité et les commerces	pourcentage %
	Proximité fonctionnelle	Pf
Définition	Grandeur décrivant l'optimisation des déplacements d'une situation précise entre l'espace habité et les commerces	
Echelles d'action	Spatiale : Cercle dont le diamètre est égal à la longueur entre les deux plus proches couvertures existantes de chaque coté du projet	Temporelle : donne les résultats moyens de journée ouvrée, mais peut être calculé pour d'autrès conditions à préciser
Intervention	Origine : Volonté de traduire la facilité de déplacementd'une situation pour justifier la construction d'une infrastructure	
	Objectif : obtenir une grandeur qui définit la proximité fonctionnelle gagnée grace à l'infrastructure pour lier l'espace habité aux commerces	
	Autrès indicateurs équivalents :	
	Précaunisations d'emploi : ...	
Mesure	Période et fréquence : journée représentative ouvrée : heure de pointe, heure creuse	Lieu(x) : trajets reliant l'espace habité et les commerces
	Techniques nécéssitées : SIG, modélisation de traffic	Limite : Les résultats sont très ressérés
Méthode d'évaluation	Données concernées : l'espace habité et les commerces la structure urbaine les conditions de circulation ordinaires les temps moyens de parcours les distances moyennes de parcours	Données disponibles : Structure urbaine (cadastre.gouv) les types d'espaces (google maps)
	(Temps gagné + Distance gagnée + facilité du parcours) régulation des résultats	
	Tma : temps de trajet moyen mis sans la couverture (min) Tmm : temps de trajet moyen mis avec la couverture (min) Ch : nombre moyen de changements de mode de transport Nc : nombre de carrefours moyens rencontrés par trajet	Dma : distance de trajet moyenne effectuée sans la couverture (m) Dmm : distance de trajet moyenne effectuée avec la couverture (m) Rcp : Rayon du cercle périmétrique (m)

En conclusion ...

L'application de l'analyse fonctionnelle externe sur la couverture d'une infrastructure dans son système consiste à modéliser les interactions entre la couverture et les éléments composant le système. Cette étape doit conduire à extraire de l'outil graphique l'ensemble des fonctions, ou actions, de la couverture dans son système. Il en résulte cinq fonctions mère :

- Créer une proximité entre les espaces,
- Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport,
- Assurer le confort des populations sur les différents espaces,
- Créer du foncier à destination des espaces,
- Assurer l'efficience de l'infrastructure.

Les fonctions peuvent se décliner à différent niveaux de granularité. Il est en effet possible de faire varier le niveau de détail dans la description fonctionnelle en appliquant l'outil d'analyse fonctionnelle externe sur la couverture avec une décomposition des éléments de l'environnement plus ou moins fine. Ce résultat offre une première évaluation qualitative du fonctionnement de la couverture.

La structuration des fonctions fait ressortir deux actions principales de la couverture : l'action « Corriger » qui regroupe l'ensemble des fonctions agissant sur le traitement de nuisances environnementales, et l'action « Structurer » qui s'attache plus aux fonctions relatives à la structuration du territoire, la composition urbaine et le traitement de la coupure. Deux niveaux d'action apparaissent également : un niveau morphologique correspondant aux fonctions s'exprimant sur le périmètre de l'ouvrage ; et un niveau programmatique traduisant les actions ayant une portée au sein du périmètre du système. Cette structuration permet de construire des profils fonctionnels de couvertures.

L'élaboration de ce jeu de fonctions structuré et hiérarchisé a permis la construction d'un modèle propice à une évaluation qualitative. Il permet en effet de déterminer quelles fonctions peuvent être remplies par la couverture dans son système. Cependant, cela n'indique pas la manière ou la proportion dont ces fonctions sont réalisées. Une étape d'évaluation quantitative est envisagée pour venir compléter la méthode. Un long travail de recherche de critères et d'indicateurs associés à chaque fonction a été entrepris dans ce but. Il est nécessaire à présent de structurer ces indicateurs au regard de ce qui a été fait pour les fonctions pour être exploité.

Le caractère très théorique de la méthode permet d'obtenir un résultat « témoin » sur un cas « idéal » et complet de couverture. Elle mérite cependant d'être validée sur un ou plusieurs cas d'études, de manière à questionner le modèle sur son applicabilité opérationnelle, vérifier ou infirmer la pertinence de la démarche, et la corriger sur d'éventuels décalages entre théorie et pratique.

CHAPITRE 6

Études de cas qualitatives : Application de l'analyse fonctionnelle sur Porte d'Italie et Rubi

L'emploi de la systémique et l'application de l'analyse fonctionnelle sur les couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain a permis d'obtenir une description structurale du système urbain de couverture et un modèle théorique du fonctionnement de la couverture dans ce système. Celui-ci se traduit par un jeu de fonctions que remplit la couverture au sein de son système pour répondre à sa finalité. Une fois organisées et structurées, ces fonctions font apparaitre deux actions majeures : « corriger » et « structurer » qui s'établissent sur deux niveaux d'action : « un niveau d'action morphologique » et « un niveau d'action programmatique ». Un profil fonctionnel peut alors être dressé.

Ce résultat permet l'évaluation qualitative d'une couverture regroupant tout les cas de figure et décrit l'ensemble des fonctions possibles. Dans ce chapitre, une application concrète de la méthode sur deux cas d'études opérationnels. Cette application a également pour but de mettre en lumière des problèmes ou des décalages entre la méthode et la réalité opérationnelle. Le but est de confronter la modèle à cette réalité de manière à le corriger et l'ajuster. En procédant suivant la méthode proposée, chacun des cas doit tout d'abord être soumis à une description structurale. Autrement dit, il s'agit de déterminer la composition des systèmes en espaces (espaces mobile, habité, équipé et actif) une fois délimité. Les fonctions peuvent alors être déterminées, et les profils fonctionnels associés construits.

Cette étape de validation porte uniquement sur la partie de la méthode concernant l'évaluation qualitative de la couverture dans son système urbain. Autrement dit, il s'agit de la définition du système jusqu'à la détermination des fonctions. Le manque de données, l'absence de structuration des critères, et la temporalité du travail de la thèse ne n'a pas permis de poursuivre l'application de l'évaluation quantitative.

6.1 Phase de test et de validation de la méthode

6.1.1 Une application nécessaire pour l'ajustement et la validation de la méthode

L'application de l'analyse fonctionnelle externe sur la couverture au sein de son système urbain, préalablement défini, a permis d'élaborer un modèle théorique pour l'évaluation qualitative des couvertures. La méthode employée repose sur un processus de modélisation systémique et fonctionnelle. La couverture d'infrastructures établit des relations avec les différents composants du système urbain, dans le but d'accomplir sa finalité « Créer un service de conciliation urbaine » (section 4.3.3.2, à la page 112). Cette méthode a conduit à la génération d'une liste exhaustive de fonctions de la couverture dans son système (section 5.2.7 à la page 143). Cela permet de déterminer le fonctionnement d'une couverture particulière selon la configuration de son système. Cette démarche repose sur un processus systémique et fonctionnel, efficace mais qui n'en reste pas moins théorique. Une application s'avère nécessaire à ce stade. Une étape de validation, étape incontournable du processus de modélisation, est conduite sur des projets de couverture non référencés dans la base de données. En effet, confronter la méthode à un ou plusieurs cas concrets et opérationnels doit permettre de la tester et de la contrôler. Cette application doit cibler les éventuelles aberrations, les écarts ou points d'incompatibilité entre le modèle et la réalité, afin de les corriger au mieux. Outre les objectifs de rectification et de correction, l'exercice applicatif doit cerner les points forts et limites de la méthode employée.

6.1.2 Une double démarche de validation de la méthode

Ce travail de questionnement et de validation de la méthode se décline en deux temps. La confrontation entre théorie et pratique révèle parfois des décalages plus ou moins importants entre un modèle et une réalité de terrain. La première phase d'évaluation a pour but de mener une application sur un cas d'étude. Il s'agit ici de tester la pertinence de la méthode sur un cas d'étude réel et de pointer les manques et aberrations afin d'y apporter les corrections nécessaires. Pour cela, il convient de suivre le déroulement de la méthode en définissant d'abord rigoureusement le système urbain de couverture spécifique au cas choisi (périmètre et composition) puis en déterminant les fonctions effectives de la couverture dans son système en se référant à la grille de fonctions établie.

La seconde phase de validation consiste à confronter la méthode au regard opérationnel. L'intérêt est de recueillir des retours critiques sur le modèle proposé et sur l'appropriation qui peut être faite de la méthode. Les premiers retours portent sur l'application de la méthode par des acteurs du projet (maitrise d'œuvre) sur un cas d'étude dont ils ont la connaissance. Ceci doit permettre d'identifier les éventuelles difficultés d'appropriation de la méthode d'une part, et de recueillir un regard extérieur et opérationnel d'autre part. Il s'agit là encore d'utiliser les retours des échanges et travaux pour améliorer et corriger le processus méthodologique adopté.

6.1.3 Choix et présentation des cas d'étude

6.1.3.1 Deux cas d'étude complémentaires

Les deux cas d'étude choisis n'appartiennent pas à la base de données élaborée dans le cadre du projet CANOPEE. Celle-ci nous a servi à plusieurs reprises de sources d'informations et de support à l'établissement de la méthode. La définition du système couverture, et notamment sa description structurale s'est largement alimentée de la base. De même, elle a conduit à l'identification du conflit par la mise en évidence et la détermination des nuisances et gênes effectives dans l'environnement de la couverture. Il apparait donc peu pertinent de s'appuyer sur l'un des cas recensés dans la base pour questionner et expérimenter la méthode. Les deux cas choisis se devaient d'être différents et complémentaires afin de tester et de confronter la méthode avec diverses configurations. En ce sens, ces deux cas sont complémentaires du point de vue de l'infrastructure de transport concernée par la couverture. Le cas sur Porte d'Italie concerne le périphérique parisien. Il s'agit donc d'une infrastructure routière de type autoroute urbaine. Le cas de Rubi en revanche concerne un faisceau de voies ferrées. (Fig.6.1).

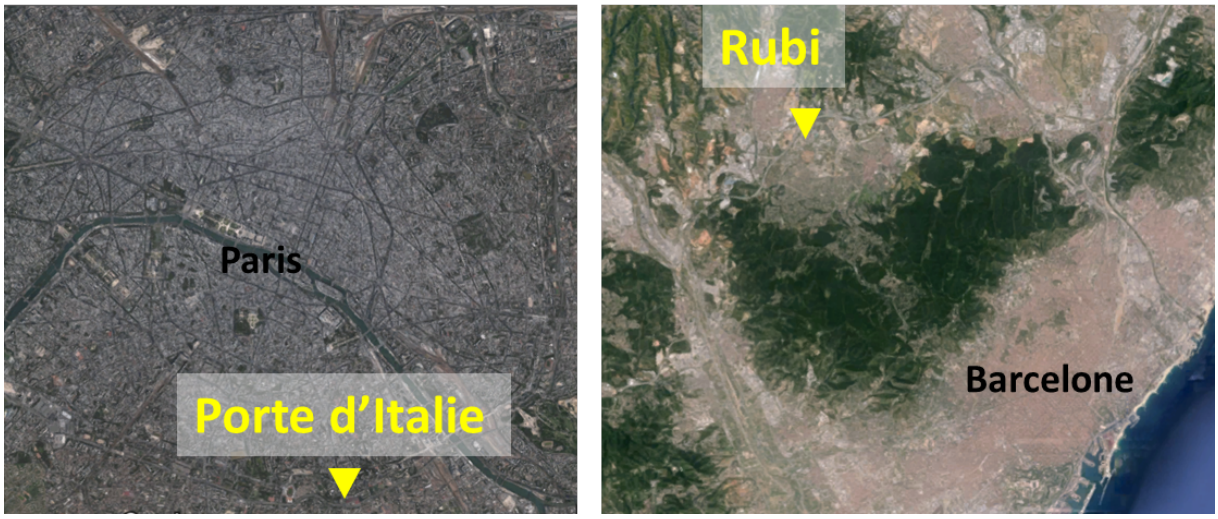


FIG. 6.1 – *Situation géographique des deux cas d'étude : Porte d'Italie à gauche, Rubi à droite*

Les couvertures concernent des infrastructures de transports routières et ferroviaires. Jusqu'ici, ces deux types d'infrastructures étaient considérés de front. Elles présentent cependant des différences dans leur fonctionnement et leurs rapports à l'espace urbain. Par exemple, les connexions au réseau local se font par le biais de gares dans le cas d'un faisceau ferroviaire et d'un échangeur ou autres voies aménagées dans le cas des axes routiers. Les nuisances générées sont également un peu différentes entre autoroute urbaine et une voie ferrée. La voie routière constitue une source plus importante de pollution atmosphérique que les voies ferrées par exemple. De même, les infrastructures ferroviaires sont à l'origine de vibrations mécaniques bien plus importantes que le réseau routier. Pour finir, les contraintes d'exploitation ne sont pas les mêmes en fonction de la nature de l'infrastructure et des acteurs qui y prennent part. Il parait donc important de tester la méthode pour chacune de ses infrastructures.

Par ailleurs, il était important d'avoir à la fois un exemple français et un exemple étranger. La

base de données (section 2.1.1 à la page 44) comprend une importante concentration de couvertures sur le réseau francilien. Le projet de couverture de Porte d'Italie rejoint cette liste. Elle s'inscrit plus précisément dans la réflexion autour de la valorisation et le renouvellement des portes de la capitale. Le cas espagnol offre quant à lui un terrain d'étude en périphérie de Barcelone.

Un dernier point de complémentarité réside dans la temporalité de l'étude. La méthode telle qu'elle est construite dans ce travail de thèse doit être adaptable et transposable à chaque instant depuis la phase avant projet jusqu'à l'exploitation de la couverture. Les deux cas d'étude sont soumis à l'application de la méthode à des instants de leur existence très différents. Le cas de Porte d'Italie correspond à une couverture en phase d'avant-projet. La couverture de Rubi est quant à elle actuellement en exploitation.

6.1.3.2 Le cas de Porte d'Italie

Le premier cas d'étude sur lequel la méthode est appliquée est un cas d'étude en projet. Il s'agit d'une possibilité de couverture des voies du boulevard périphérique parisien au sud de Paris, au niveau de la Porte d'Italie. Ce projet concerne deux communes riveraines à la porte : Paris et le Kremelin-Bicêtre.

Le demande initiale ne portait cependant pas sur la reconquête et le renouvellement de cette porte. En effet, il s'agissait de proposer un aménagement permettant la requalification du quartier Paul Bourget. Celui-ci se situe en bordure du boulevard périphérique, côté parisien. Il est soumis à un fort enclavement du fait de l'encadrement par le boulevard, l'avenue de la Porte d'Italie et le Parc Kellerman. En effet, le quartier ne tisse pas de réels liens et ouvertures avec ces trois espaces. La topographie du site accentue encore cet aspect (Fig.6.2). Ainsi, outre la nécessaire restructuration et recomposition dans l'enceinte du quartier, une réflexion doit être portée sur son « ouverture sur la ville et sur le parc Kellerman ». Le but étant de reconnecter cette enclave urbaine au tissu environnant [UrbanAct, 2012a] et [UrbanAct, 2012b].

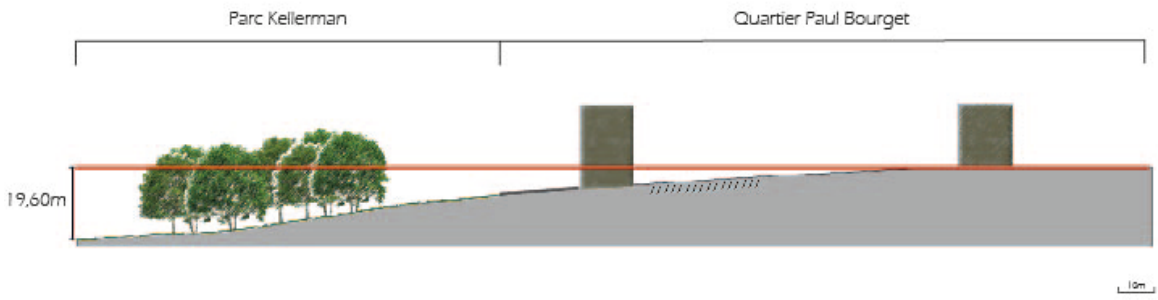


FIG. 6.2 – *Coupe du terrain naturel entre le quartier Paul Bourget et le parc Kellerman*

L'agence d'architecture et d'écologie UrbanAct a soumis une première réponse intégrant un traitement de chaque interface du quartier aux les objets ou espaces urbain immédiats extérieurs. Elle propose également, une seconde réponse plus prospective allant jusqu'à la reconquête de la porte

d'Italie en proposant une couverture lourde des voies du périphérique.

6.1.3.3 Le cas de Rubi

Le second cas d'étude fait l'objet d'une appropriation et d'une application menée par l'agence d'architecture et d'écologie UrbanAct sur un cas dont ils ont la connaissance. Il s'agit de la couverture de Rubi, au nord de Barcelone : la Rambla del Ferrocarril. L'ouvrage, actuellement en exploitation, recouvre un tronçon ferré de 400m. L'espace créé au dessus de la couverture est à destination d'usages collectifs. Imaginée par Bernardo de Sola et Angela Gori, cette couverture offre un vaste espace public entièrement dédié aux piétons, qui se situe au niveau de la gare, pour les populations riveraines et utilisatrices du quartier [De Sola, 2007]. Ce projet, achevé en juillet 2004, s'inscrit dans une logique de couture urbaine, de récupération d'espace et d'amélioration du confort urbain.

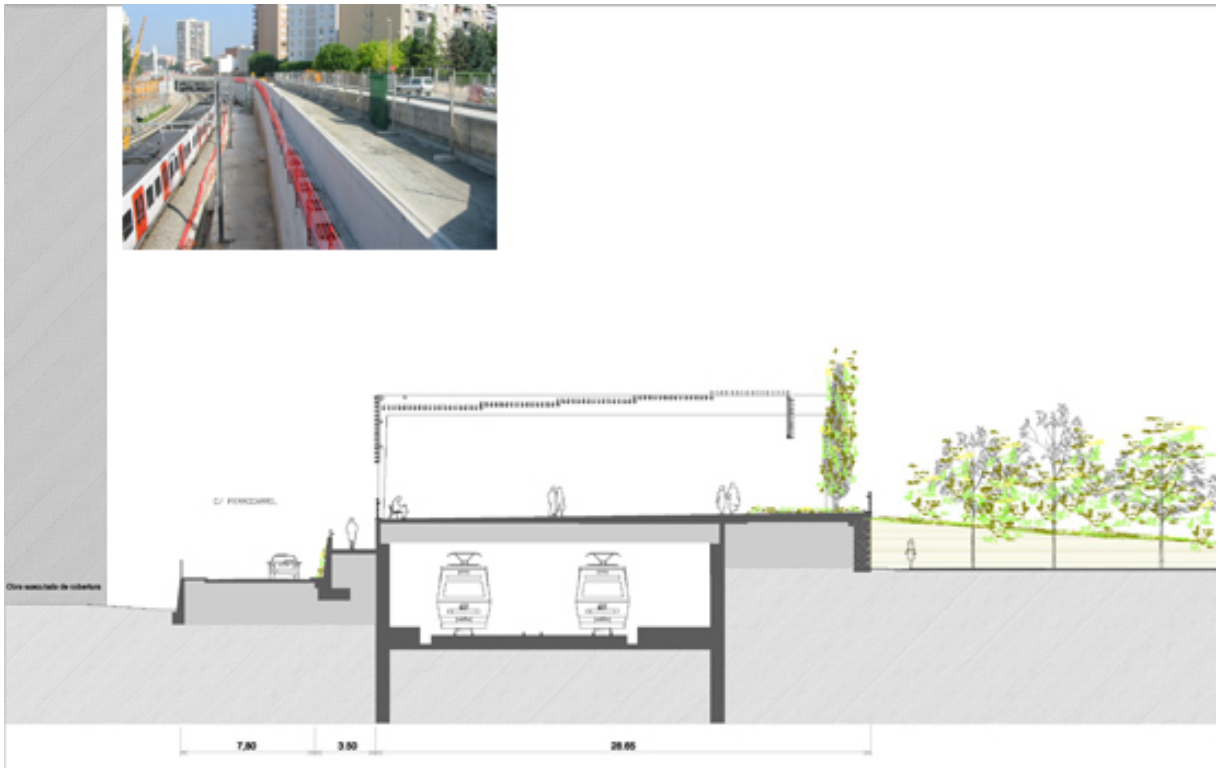


FIG. 6.3 – *Coupe de la couverture de Rubi. [De Sola, 2007]*

La topographie du site est particulièrement remarquable.

- La topographie naturelle implique une différence de niveau entre les deux rives de l'infrastructure
- L'infrastructure de transport est très peu encaissé, et impose, de fait, que la couverture s'élève sur un troisième niveau topographique

Ainsi les franges immédiates ont fait l'objet d'un traitement particulier, permettant d'assurer des transitions topographiques douces (Fig.6.3).

La couverture de Rubi correspond au cas d'étude pour lequel l'application de la méthode est confiée aux acteurs opérationnels (agence UrbanAct). Ce projet présente l'intérêt notamment d'être achevé, en cours d'exploitation, et pour lequel l'ensemble des données nécessaires à l'exercice sont *a priori* disponibles.

6.2 Application de la méthode sur un cas d'étude : définition du système couverture sur Porte d'Italie

6.2.1 Périmètres du système : les limites du périmètre de projet

6.2.1.1 Les différents scénarios sur Porte d'Italie

Suite aux échanges avec l'agence, il est proposé de travailler sur l'état existant du site de la Porte d'Italie et sur deux scénarios de projet sur ce même site. Le premier constitue le projet retenu par la ville pour la requalification du quartier Paul Bourget. Le second, quant à lui, expose un projet intégrant un ouvrage de couverture.

État existant Dans l'état actuel du site (Fig.6.4), le quartier Paul Bourget s'apparente à un espace dévitalisé et enclavé présentant très peu de connexions avec ses espaces voisins. Une voie permet de déboucher sur l'avenue de la Porte d'Italie qui traverse et dessert le boulevard périphérique par un accès essentiellement motorisé.

FIG. 6.4 – *Planche de présentation de l'état existant au niveau du traitement du périphérique. D'après une production d'UrbanAct*

Scénario 1 : Requalification Le premier scénario correspond au projet tel qu'il a été accepté par la ville de Paris pour la requalification du quartier Paul Bourget (Fig.6.5). L'aménagement du quartier est entièrement repensé. Son organisation fonctionnelle et spatiale est alors complètement redéfinie ainsi que son rapport au tissu dans lequel il s'inscrit. L'ouverture vers le Kremelin-Bicêtre se traduit, dans ce scénario par la création d'une passerelle reliant le quartier Paul Bourget à l'autre rive du périphérique. Cette passerelle se situe dans la continuité de l'avenue de docteur Antoine Lacroix du Kremelin-Bicêtre, et trouve son prolongement dans la nouvelle trame viaire du quartier parisien.

FIG. 6.5 – *Planche de présentation du scénario 1 : Projet de ville en cours. D'après une production d'UrbanAct*

Scénario 2 : Couverture Ce scénario entre dans un cadre plus prospectif (Fig.6.6). Il correspond à une variante du projet comme perspective à long terme du traitement de la Porte d'Italie. Cette proposition s'appuie sur la même programmation du quartier Paul Bourget que dans l'état existant, et conserve la passerelle. Elle prévoit, en supplément du projet retenu, une couverture des voies du périphérique parisien au niveau de la sortie et de la traversée routière actuelle. La création de cette couverture lourde ferait l'objet d'une programmation sur l'espace créé au dessus, et sur les abords immédiats. Il serait ainsi prévu la création de bâtiments accueillant des activités tertiaires et des équipements, la mise en place de cheminements piétons et d'espaces publics, et enfin une redéfinition des accès et circulations automobiles.

FIG. 6.6 – *Planche de présentation du scénario 2 : Projet d'UrbanAct intégrant un couverture. D'après une production d'UrbanAct*

6.2.1.2 Un périmètre pas nécessairement centré sur le projet

La méthode de modélisation se base sur la définition de deux périmètres d'étude associés aux couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain. Le premier périmètre correspond aux limites de la structure de génie civil : il considérait la forme structurelle de la couverture. Le second se dessine sur les contours d'un périmètre « projet ».*,* périmètre de l'opération d'aménagement (cf. section 3.3.1).

La méthode utilisée s'appuie sur la démarche d'analyse fonctionnelle. De manière très simplifiée, il s'agit de mettre en relation des éléments au sein d'un périmètre et d'en extraire et comprendre le

fonctionnement global. La définition du périmètre du système revêt donc une importance capitale. Le résultat de cette démarche dépend complètement des éléments inclus dans le périmètre. La décision d'inclure ou non un élément (un bâtiment accueillant un équipement par exemple) influe énormément sur le résultat. La présence ou l'absence de composant urbain va activer ou pas des relations, et donc décrire ou non des fonctions de manière peut-être injustifiée ou incorrecte.

La commande initiale porte sur le traitement d'un espace particulier : la requalification du quartier Paul Bourget. Cette demande n'intègre pas la création d'une couverture, celle-ci est proposée comme élément de réponse dans le second scénario. L'analyse de ce projet dans le cadre de la validation de notre modèle d'évaluation questionne la position de l'objet couverture dans le périmètre du système étudié. Un périmètre « projet » non centré sur la couverture n'est pas adapté et exclut une part importante d'espaces impactés directement par la couverture. En effet, le périmètre du projet, et donc du système (en bleu clair sur la figure ci-dessous (Fig.6.7)) se cantonne aux contours du quartier Paul Bourget. La proposition de l'agence intègre un traitement de la porte en elle-même et conduit à élargir le périmètre de manière à intégrer les aménagements prévus par et sur la couverture (scénario 2) et la passerelle (scénarios 1 et 2). Se dessine alors un nouveau périmètre du projet (en bleu foncé sur le plan) fortement conditionné par la limite administrative : celle des deux communes de part et d'autre de l'infrastructure (Paris et le Krémelin-Bicêtre). La couverture se positionne en bordure (sud-est) du périmètre. En appliquant la méthode sur un tel périmètre, des fonctions, pourtant traitées, apparaissent comme inexistantes. Les limites du projet excluent ainsi des composants moteurs de relations et donc des fonctions pourtant effectives et essentielles dans le fonctionnement urbain local.

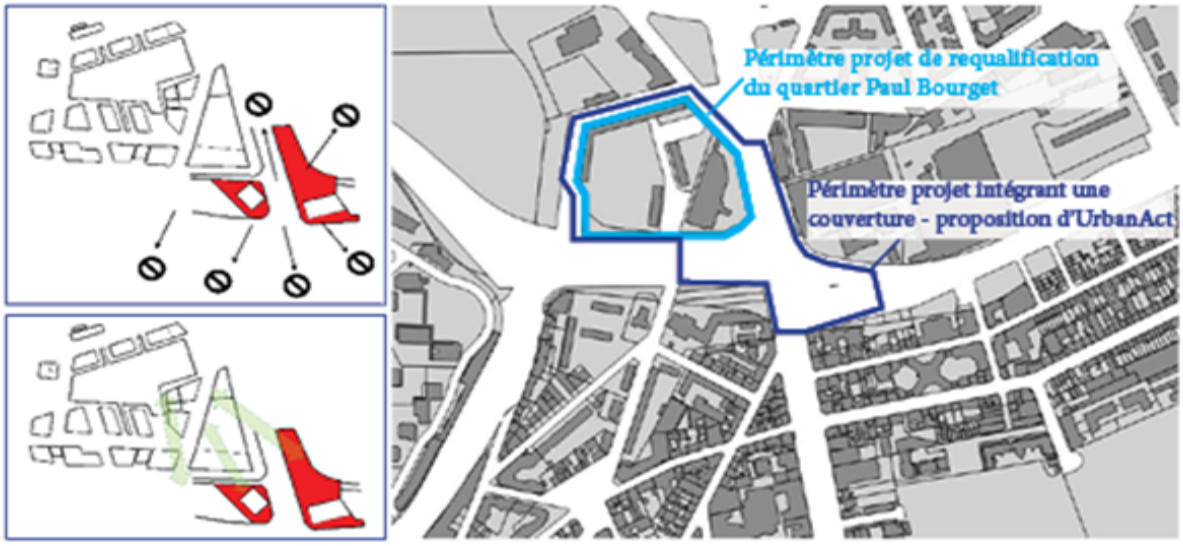


FIG. 6.7 – *Périmètre du projet et limites dans l'identification des interactions*

Tout d'abord, les fonctions impliquant un élément d'espace à l'est de l'avenue de la Porte d'Italie ou sur la rive sud (Kremelin-Bicêtre) du boulevard périphérique seront considérées comme inexistantes puisque ces éléments sont eux même inexistants au sein du système. Les fonctions relatives à la résorption de la coupure par exemple, ne seront pas considérées comme effectives au sein du système. Autrement dit, la couverture sera évaluée comme n'ayant aucune action de structuration

au niveau programmatique. Seules les interactions entre le quartier Paul Bourget, la couverture et la passerelle seront considérées dans ce système.

Il est déjà évident que le fait de conserver ce périmètre pour l'application de la méthode génèrera des résultats erronés pour une évaluation globale de la couverture. Le périmètre de projet n'a plus de pertinence lorsque la couverture ne constitue pas le cœur du projet, mais un des aménagements proposés parmi d'autres. Il est indispensable de positionner la couverture au centre d'un périmètre assez large pour éclairer l'ensemble des fonctions décrivant le fonctionnement du système urbain de couverture.

6.2.1.3 Une part de subjectivité influençant les résultats de la méthode

Ce constat relève une seconde lacune de la démarche : l'incidence de la subjectivité dans la description du périmètre sur les résultats de la méthode d'analyse fonctionnelle. Le fait de redéfinir un périmètre centré sur l'ouvrage de génie civil doit être conduit rigoureusement. Comme dit dans le paragraphe précédent, la méthode est extrêmement sensible aux éléments inclus ou non dans le système. Ainsi, un utilisateur pourrait choisir d'intégrer un espace ou un bâtiment, ou de l'exclure pour obtenir un résultat escompté mais pas forcément révélateur du fonctionnement global.

Ce constat a permis de questionner précisément la limite du périmètre du système urbain de couverture. La réflexion s'oriente vers une démarche portant d'avantage sur un fonctionnement local et centré sur l'objet de génie civil que sur une programmation affichée. Le périmètre ainsi défini, se voudra plus robuste face aux éventuelles évolutions du projet. L'objectif est de construire une processus qui soit à la fois automatique et adapté à un fonctionnement urbain.

6.2.2 Mise en place d'un protocole de définition d'un périmètre de système urbain

6.2.2.1 Des pistes de détermination de périmètres urbains

Plusieurs pistes ont été explorées dans l'optique de construire un protocole de détermination de périmètre de notre système urbain de couverture.

La piste du *rayon de distance* émerge assez logiquement dans la définition d'un périmètre. Le principe s'appuie sur le tracé d'ovoïdes centrés sur la couverture, selon une distance d définie préalablement. Celle-ci peut être choisie sur la base de distances à parcourir acceptables par un type de flux, ou de distances de « bassin de vie » par exemple. Il peut être également envisagé une seconde distance d' permettant de définir un périmètre plus large. Autrement dit, il s'agit de considérer que le premier périmètre, déterminé sur la base d'un cercle de rayon d, s'inscrit dans un espace plus large et avec lequel il peut avoir des relations et interdépendances. Sur ce principe, un second cercle (ou ovoïde) de rayon d' peut être envisagé.

La seconde piste s'attache plus aux concepts de mobilité et d'accessibilité. Des outils comme les isochrones et les isodistances permettent de définir des aires d'accessibilité pour un type de flux donné. Frédéric Héran fait notamment référence dans ses travaux à la construction de cartes « Zones

d'Accessibilité Piétonne » (ZAP) [Héran, 2011b]. Il s'agit donc de se baser sur des parcours, par flux, et sur leur degré d'accessibilité pour définir le périmètre.

Enfin, une troisième piste consiste à considérer un certain nombre d'objets (îlot, parcelle, voie, etc.) autour de l'ouvrage de couverture. Ces objets sont identifiés, sélectionnés et intégrés au sein du périmètre par le procédé de lancer de rayons.

6.2.2.2 Le principe du lancer de rayons

L'une des pistes évoquées ci-dessus semble particulièrement intéressante dans ce travail de recherche, il s'agit du lancer de rayons. Le lancer de rayons est un procédé consistant à décocher un rayon, à l'image d'un radar, qui parcourt l'espace en ligne droite jusqu'à ce qu'il percute un obstacle. Il renvoie alors une information sur sa présence et sa position, et peut également récupérer et transmettre d'autres renseignements sur sa nature (bâtiment, limite de parcelle, voirie, *etc.*) par exemple.

Outre les nombreuses applications en mathématiques, sciences physiques et mécaniques, ce procédé est utilisé en analyse et géomatique urbaine. A ce titre, le lancer de rayons est fréquemment utilisé pour la construction d'indicateurs. Pour prendre quelques exemples, les travaux de Van Bilsen et Poelman proposent une utilisation du lancer de rayons pour la construction d'isovists [1] 2D et 3D [Van Bilsen and Poelman, 2009] (Fig6.8). Pour cela, il détermine un point d'où les rayons vont être lancés (au centre de l'axe en pointillés sur la figure) puis procède à la génération de rayons, dans toutes les directions depuis ce point. Benedikt, quelques années avant, initiait cette étude dans son article [Benedikt, 1979]. Toujours dans le même registre, Ramos s'intéresse aux possibilités du lancer de rayons pour l'élaboration d'indices de visibilité [Ramos, 2003]. Il s'agit ici de lancer des rayons depuis une position (à hauteur de la vision humaine) dans un environnement où les objets bâtis sont renseignés et de s'interrompre au premier obstacle rencontré. Le résultat de ce procédé permet d'identifier les ouvertures visuelles, définies par les rayons qui ne sont pas arrêtés par un (obstacle) bâti.

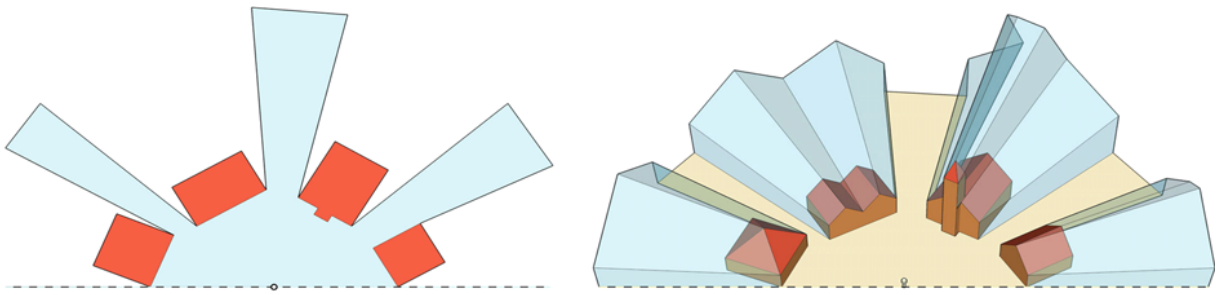


FIG. 6.8 – *Usage du lancer de rayons pour la construction d'isovists 2D et 3D [Van Bilsen and Poelman, 2009]*

1. L'isovist consiste à évaluer le champs visuel depuis un point d'observation, autrement dit la quantité d'espace visible [Fund, 2012]

Le lancer de rayons peut également avoir pour vocation à déterminer des objets aux abords d'un autre. Mickaël Brasebin évoque, entre autres dans sa thèse, la possibilité d'utiliser ce procédé pour déterminer les objets voisins d'une limite cadastrale [Brasebin, 2014]. Il émet cependant des réserves quant à la compatibilité entre automatisme et règlementation. Le lancer de rayon permet également, suite à l'usage des informations renvoyées, d'aboutir à des représentations particulières de l'objet étudié. L'exemple exposé ici correspond à une étude de rythme morphologique et de la continuité du bâti dans une rue ou le long d'un parcours. Il s'agit tout d'abord de tracer un axe central à la rue. Celui-ci est échantilloné selon une longueur choisie (3m par exemple) de manière à ce qu'un rayon soit généré tous les 3m le long de cet axe. Un échantillonage de l'axe vertical permet de générer des rayons sur trois dimensions (a et b de Fig.6.9). Ces rayons renvoient des informations sur l'élément bâti qu'il intersecte. Il s'agit sur cette illustration de déterminer la distance des bâtiments à l'axe de la rue pour informer sur la morphologie locale et sur les rythmes urbains (c sur Fig.6.9). Les points sur la figure correspondent aux points d'impact des rayons sur les façades : plus ils sont foncés, plus ils sont éloignés de l'axe de la rue.

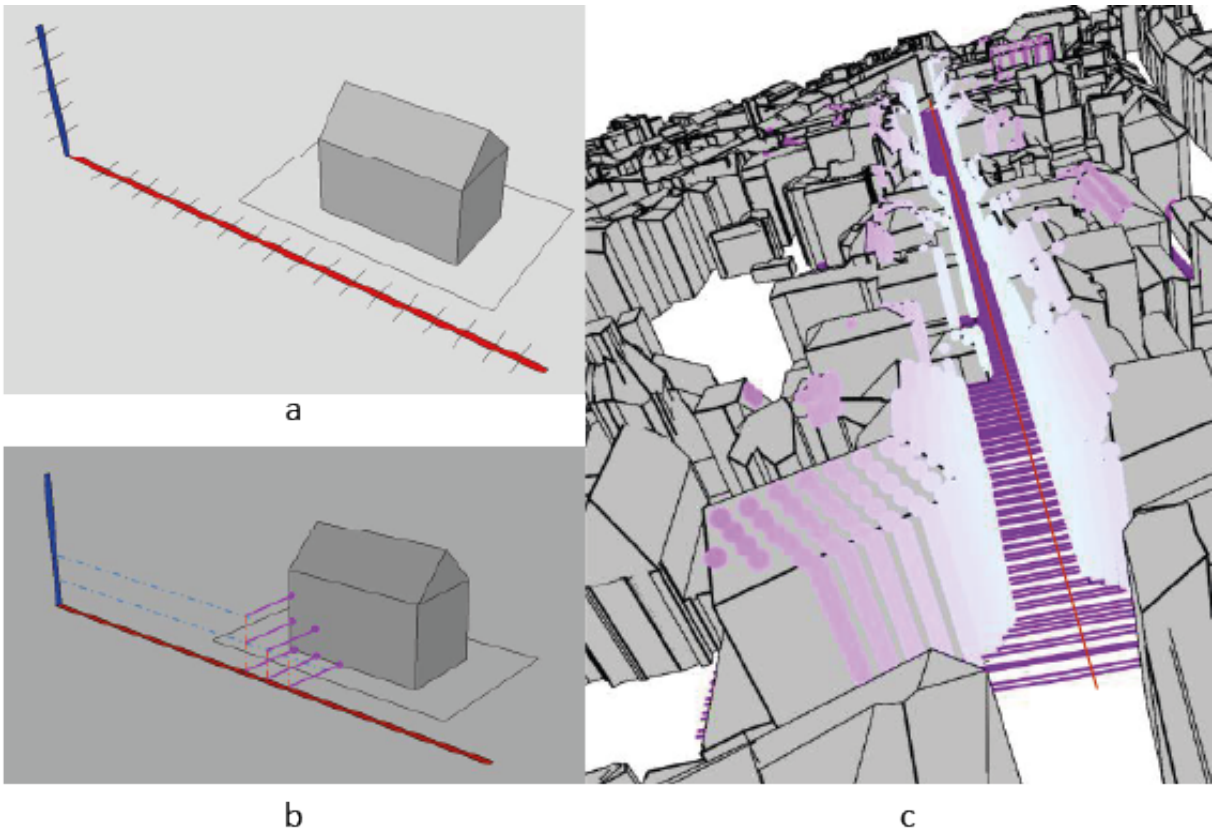


FIG. 6.9 – *Usage du lancer de rayons permettant la récupération d'informations sur des bâtiments le long d'une rue [Fund, 2012]*

Dans le cadre de l'élaboration d'un processus pour la détermination d'un périmètre de système urbain de couverture, il est proposé d'utiliser la méthode du lancer de rayons pour déterminer un périmètre local centré sur l'ouvrage. L'intérêt d'employer cette méthode est de pouvoir définir un périmètre minimum représentatif de l'usage local de l'espace urbain par les populations. Il s'agit en

effet d'un procédé géométrique qui ne tient pas compte de découpages ou de volontés politiques. L'objectif ici est d'utiliser les rayons pour identifier et informer des entités qui sont intégrées au périmètre du système et celles qui en sont exclues. L'ouvrage tient le rôle de « lanceur de rayons ». Les faisceaux sont décochés perpendiculairement aux arrêtes dessinées par le périmètre structurel vers l'extérieur, et de manière radiale depuis les sommets (Fig.6.10).

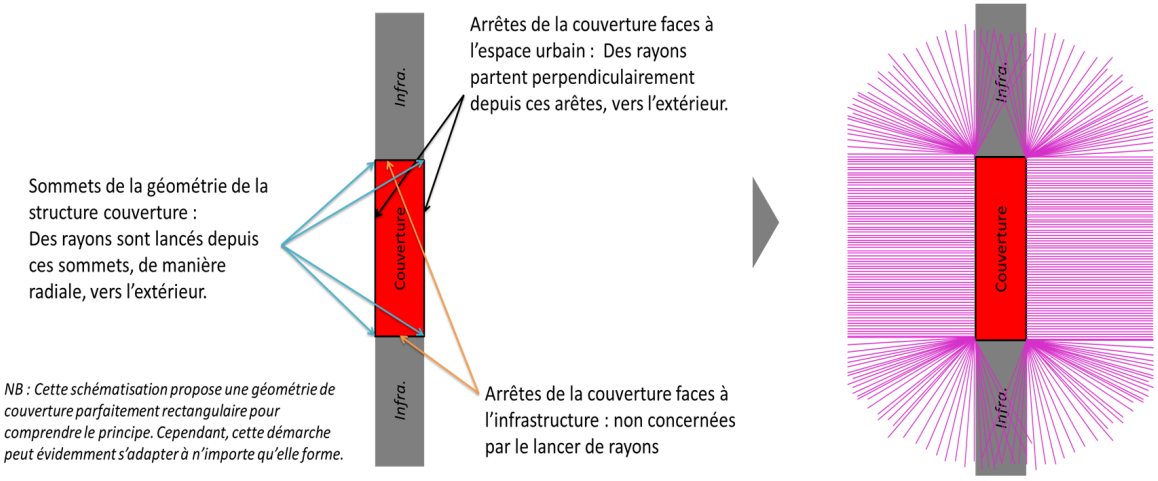


FIG. 6.10 – *Principe du lancer du raton appliqué à la couverture*

Le rayon n'ayant pas de signification d'usage de l'espace urbain, il convient de déterminer judicieusement les objets qui vont interagir avec les rayons. Pour cela, le choix porte sur la parcelle. Il s'agit d'un objet clairement et unanimement défini, il ne peut donc être une source d'erreur ou d'incompréhension. Ainsi, il est aisé de se référer à la parcelle pour établir une aire d'étude relative à l'espace urbain et son usage. Lors d'un échange avec l'agence UrbanAct, il a été choisi de définir une aire ayant une portée de deux parcelles autour de l'ouvrage. Au delà, les populations ne sont *a priori* pas impactées par la modification urbaine apportée par la présence de la couverture. Le concept de lancer de rayons, pour la définition d'un périmètre de fonctionnement local d'une couverture, est basé sur la conservation des deux premières parcelles rencontrées depuis la couverture. Les rayons vont intersecter successivement les parcelles et conserver les deux premières rencontrées. Les deux premières parcelles intersectées par ligne droite du rayon sont intégrées au périmètre, les suivantes sont écartées (Fig.6.11). Ainsi, la considération de deux parcelles autour de la couverture constitue la base de notre périmètre local du système urbain de couverture.

Le parcellaire peut présenter des irrégularités, voire des incohérences, et avoir une influence sur la construction de ce périmètre. Pour cela les rayons doivent être en nombre suffisant. En effet, plus le nombre de rayons est important, plus le balayage réalisé est serré, et permet de réduire les oublis de parcelle. Le nombre de rayons lancés doit être adapté à l'utilisation qui en est faite et à la qualité des résultats souhaitée. D'autre part, des corrections manuelles sont prévues pour rectifier les éventuelles erreurs initiées dans la définition du périmètre. Pour prendre un exemple (Fig.6.12), une parcelle peut, du fait de sa forme ou de sa configuration, générer des erreurs ou incohérences dans la construction du périmètre. Un rayon peut intersecter un morceau étroit (droit de passage par

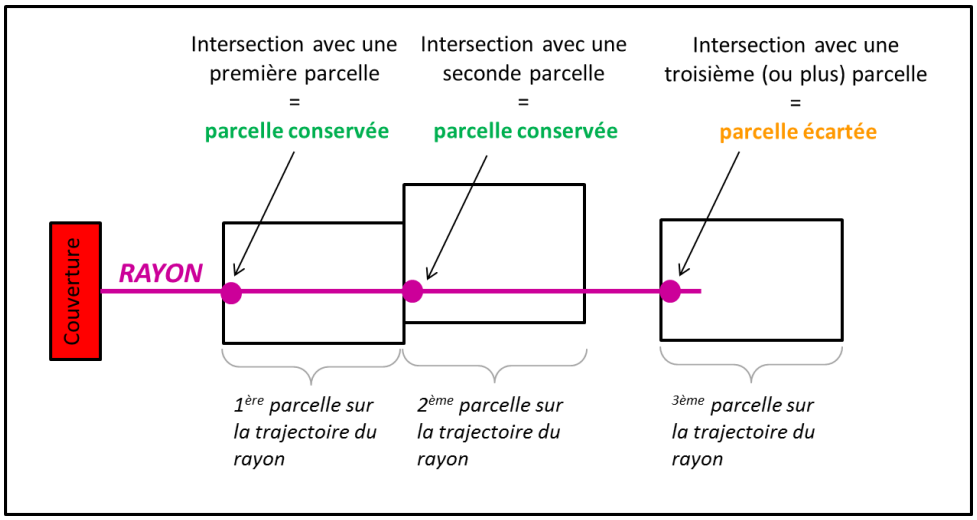
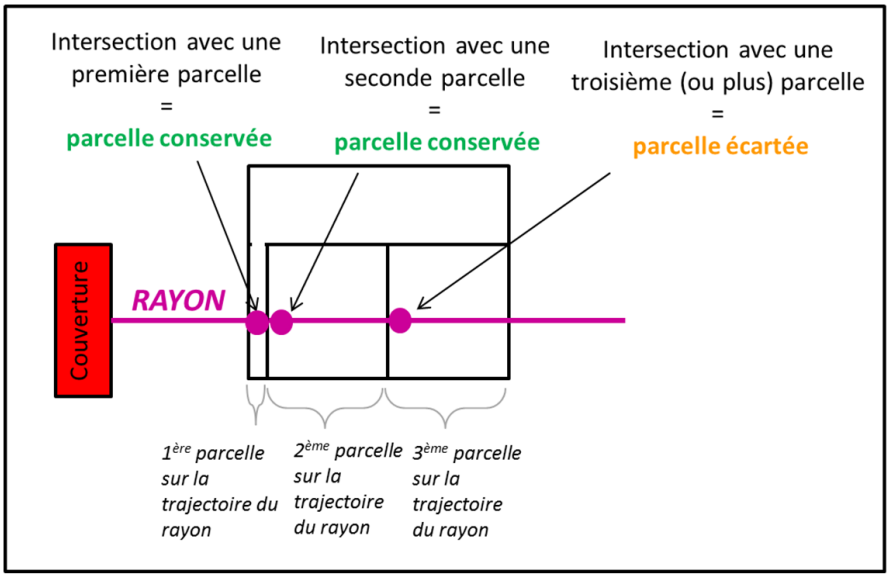
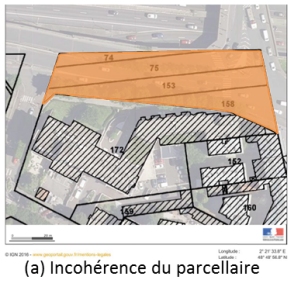


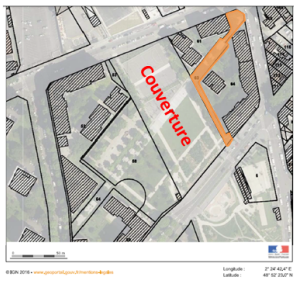
FIG. 6.11 – *Lancer de rayons depuis la couverture pour la conservation des deux premières parcelles*

exemple) et le considérer comme première parcelle rencontrée. En intégrant ce « résidu de parcelle », le rayon peut omettre d'inclure certaines d'entre elles.





(a) Incohérence du parcellaire



(b) Irrégularité du parcellaire

FIG. 6.12 – *Concept de lancer de rayons depuis la couverture face aux irrégularités du parcellaire et exemples d'incohérence (a) et d'irrégularité (b) de parcellaire au bord du boulevard périphérique parisien*

Le premier exemple ((a) Fig.6.12) illustre une incohérence dans le parcellaire au Krémelin-Bicêtre au niveau de la Porte d'Italie. Quatre parcelles longent le boulevard périphérique. Elles correspondent à de la voirie et non à une limite parcellaire qui peut être prise en compte dans cette étude. Le second exemple ((b) Fig.6.12) correspond à une parcelle en bordure de le couverture de Porte des Lilas. Elle illustre une parcelle très fine, en forme de coude, qui borde sur toute sa longueur une autre parcelle.

6.2.2.3 La question de la restriction à l'échelle locale et de rayonnement urbain

Le lancer de rayons permet de déterminer de manière automatique et surtout objective un périmètre local. Mais il présente deux importantes lacunes. La première réside dans le caractère extrêmement local du périmètre obtenu par ce biais. Le second manque est dû à l'application d'un procédé exclusivement géométrique. Il ne tient donc pas compte de ce qu'il intègre au périmètre. Ainsi, un équipement par exemple, situé à l'extérieur de la limite peut avoir un rayonnement important et influer de fait sur le fonctionnement du système. Il est donc indispensable d'intégrer au protocole une identification, dans un rayon plus large que le pur fonctionnement local, les éléments structurants, ayant un rayonnement assez important pour impacter ou être impactés par la couverture. Un grand équipement culturel par exemple, situé en dehors du périmètre généré par lancé de rayons, peut avoir une influence beaucoup plus large.

Une première étape s'attache à la définition d'une aire dans laquelle les éléments structurants vont être décelés. Il s'agit donc de s'appuyer sur une distance, que l'on appellera « rayon d'influence », appliquée depuis l'ouvrage de couverture. Cette distance doit être définie en fonction du contexte urbain et de la morphologie locale. Un contexte urbain très dense aura un rayon d'influence moins étendu que pour un tissu plus lâche. Ce rayon peut également varier d'une rive à l'autre de l'infrastructure.

Les éléments structurants exposés ici peuvent prendre la forme d'éléments simples :

- des équipements lourds (tels qu'ils sont décrit dans la composition de l'espace équipé)
- des voiries importantes (autoroutes, voies ferrées, artères urbaines, etc.)
- des gares, des stations de métro, de vélos, etc.

ou de groupement d'éléments structurants :

- un centre urbain
- une zone d'activités
- etc.

Chacun des éléments identifiés dans l'aire d'influence est ensuite étudié vis-à-vis de son influence, ou de son absence d'influence, sur la couverture et le périmètre local. Les éléments qui ne présentent pas d'impact particulier sur le fonctionnement du système sont écartés. La détermination du rayon d'influence peut se baser sur ce principe. On procède par étapes en augmentant petit à petit la longueur du rayon jusqu'à ce que plus aucun élément ne soit retenu. Ainsi le rayon d'influence sera défini de fait.

6.2.2.4 Présentation du protocole de définition d'un périmètre fonctionnel

En s'appuyant sur le procédé de lancer de rayons depuis l'ouvrage de génie civil et sur la recherche d'éléments structurants ayant une influence fonctionnelle sur le périmètre local, un protocole détaillé en six étapes est formalisé. L'application de ce dernier doit aboutir à la définition générique du périmètre du système couverture. L'espace est perçu en trois dimensions.

La première étape consiste à prendre l'ouvrage de couverture comme point de départ et de référence à la construction du périmètre. Cet ouvrage de génie civil présente des limites structurelles clairement définies permettant de s'appuyer sur un premier contour physique spécifié. Par ailleurs, il s'agit bien de soumettre à l'analyse l'insertion de cette couverture dans son environnement, il apparait de fait logique de centrer le périmètre sur celle-ci. L'ouvrage est représenté en rouge sur le schéma ci-dessous (Fig.6.13).

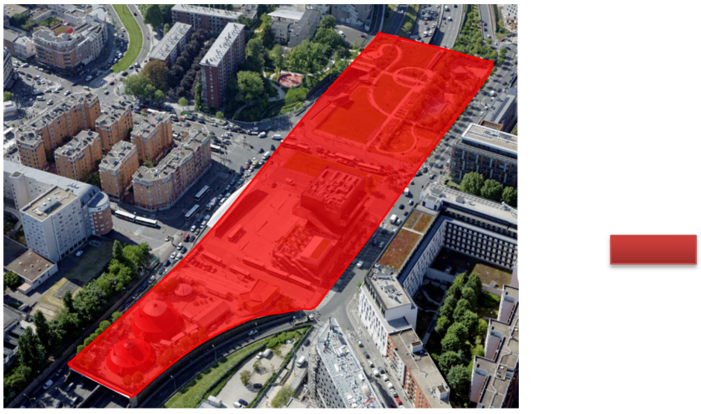


FIG. 6.13 – *Schématisation du protocole : Étape 1 - Détermination du périmètre structurel*

L'étape suivante consiste à déterminer un périmètre d'usage local. Le but est de formaliser un espace dans lequel les populations évoluent et pour lequel leurs activités sont impactées par la couverture ou les aménagements qu'elle supporte. Ce périmètre d'usage local doit être défini méthodiquement, de manière à ne pas omettre des espaces dont l'usage est pourtant impacté par la présence de la couverture (exclusion d'une rive de l'infrastructure qui n'appartiendrait pas à la commune où encore exclusion ou absorption volontaire d'un élément afin de biaiser les résultats de la méthode par exemple). Il est donc préconisé l'usage d'un procédé quasi-automatique qui ne prendrai aucun cas de découpage territorial, frein politique, etc. Pour ce faire, il est choisi de procéder par la technique du lancer de rayons, comme expliqué précédemment. Les deux premières parcelles intersectées par un rayon sont retenues dans le périmètre. Les autres sont en revanche ignorées. Dans le cas d'erreurs dues à l'automatisme de ce procédé, des corrections manuelles peuvent être apportées (l'oubli d'une parcelle par exemple) (Fig.6.14).

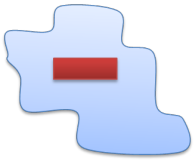


FIG. 6.14 – *Schématisation du protocole : Étape 2 - Détermination du périmètre d'usage local*

La troisième étape du protocole consiste à appliquer un « rayon d'influence » de la couverture. Plus précisément il s'agit d'établir une aire dans laquelle les éléments rayonnants tels que des grands équipements ou des grands axes de transport auront une influence certaine sur le fonctionnement de la couverture et du périmètre local établi dans l'étape précédente. Ici, le schéma présente une

régularité de la géométrie de cette aire car il a été appliqué une même distance de rayonnement à chaque sommet de l'ouvrage (qui se trouve par ailleurs très régulier également sur ce schéma) (Fig.6.15). La valeur attribuée à ce « rayon » n'est cependant pas fixée de manière générique. Elle peut prendre des valeurs différentes en fonction du tissu, de sa densité, et de la morphologie urbaine locale. Elle peut même différer d'une rive de l'infrastructure de transport couverte à l'autre.

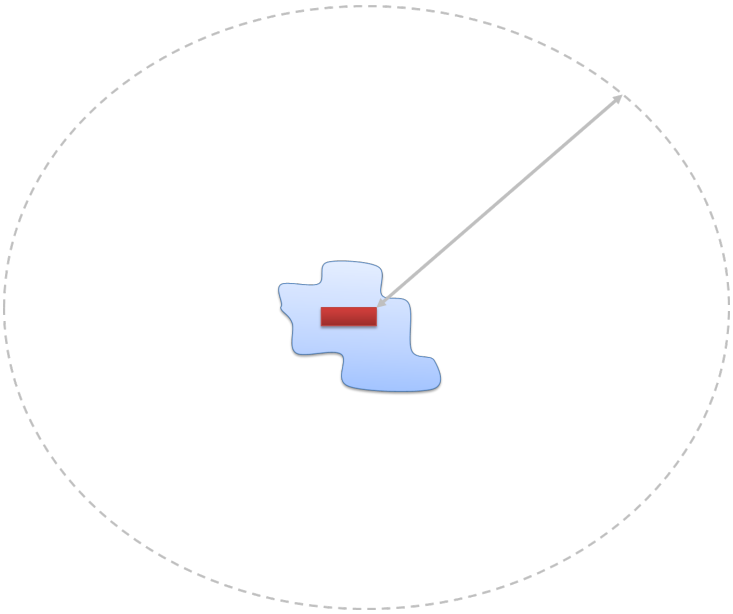


FIG. 6.15 – *Schématisation du protocole : Étape 3 - Application du rayon d'influence*

La longueur du rayon à appliquer fait l'objet d'une réflexion particulière. Il est considéré un rayon minimum de 800m autour de l'objet de génie civil. Cette valeur correspond à la distance de référence pour un rayon de quartier de gare. Cette valeur a été appliquée notamment dans l'étude de quartiers de gares du Grand Paris par l'APUR [APUR, 2014a] [APUR, 2014b]. Il s'agit d'une distance « qui correspond sensiblement à 10 minutes à pied ». Pour autant, il n'est pas exclu que certains équipements, axes de transports, et autres objets urbains majeurs, aient une portée ayant au-delà de ce rayon de 800m. Il est donc proposé d'agrandir ce rayon progressivement (par jalon) et de s'arrêter lorsque plus aucun élément n'est considéré comme structurant (dans la zone d'élargissement). Ce rayon peut être différent entre deux rives.

Une fois ce rayon appliqué, il convient d'identifier les éléments structurants qui y sont présents (Fig6.16). Il s'agit de la quatrième étape du protocole. Il faut se référer pour cela à la description de ce qui est entendu par élément structurant plus haut dans ce mémoire (section6.2.2.3 page 174). Ils correspondent en fait aux éléments (équipements, axes routiers majeurs, etc.) impactant ou une influençant potentiellement le fonctionnement au sein du périmètre d'usage local précédemment défini. Ces éléments apparaissent comme des satellites autours de premier périmètre local (Fig.6.16).

Certains de ces éléments, pourtant identifiés comme structurants, ne présentent aucune influence sur le système. Un pôle de commerces situé à proximité d'un site à l'étude peut, par exemple, avoir une influence négligeable voire inexistante sur le fonctionnement de celui-ci. Il n'apparaît donc pas

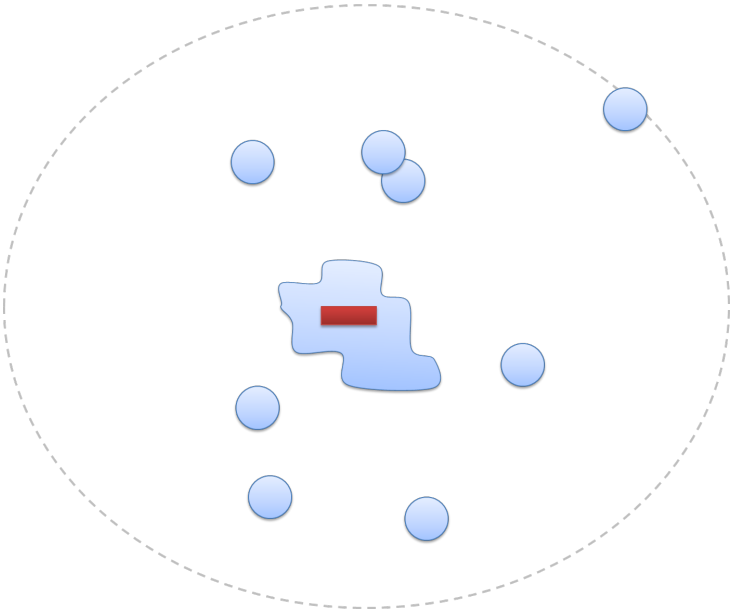


FIG. 6.16 – *Schématisation du protocole : Étape 4 - Identification des éléments structurants*

légitime d'intégrer ceux-ci au périmètre du système. Leur insertion est déterminante pour les résultats de la méthode. Ainsi la cinquième étape du protocole consiste à juger de la pertinence (P) ou non (NP) de la présence de ces éléments au sein du périmètre du système urbain de couverture (Fig6.17).

La question qui se pose à ce stade est « Qui juge de la pertinence de ces éléments ? ». Il est préconisé ici de définir leur pertinence sur la base d'une concertation et d'un accord de l'ensemble des acteurs susceptibles de participer au projet.

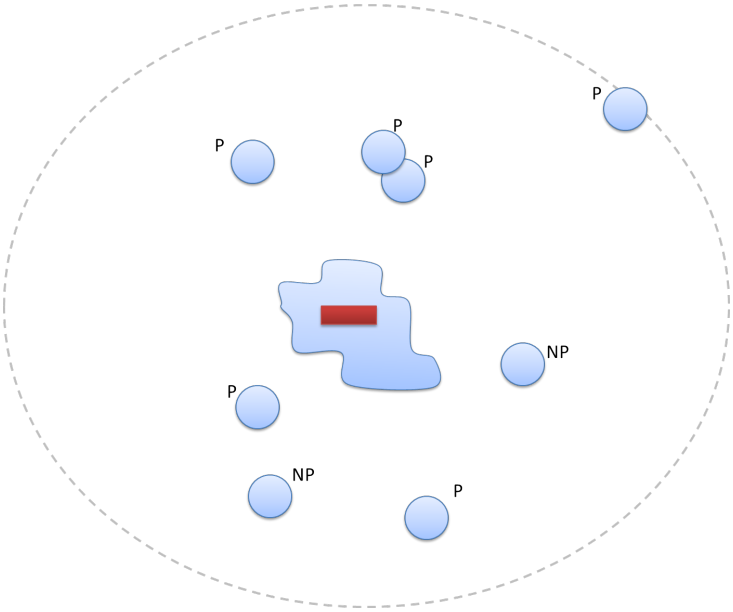


FIG. 6.17 – *Schématisation du protocole : Étape 5 - Appréciation de la pertinence des éléments structurants. P : Pertinent, NP : Non Pertinent*

Les satellites matérialisant les éléments structurants pour notre système sont enfin intégrés à

notre périmètre local. Les satellites jugés non pertinents sont quant à eux écartés (Fig.6.18).

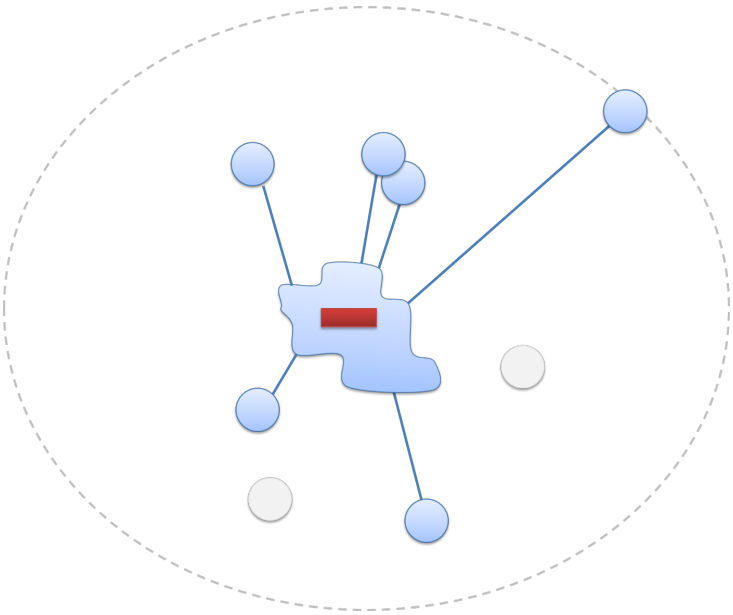


FIG. 6.18 – *Schématisation du protocole : Étape 6 - Détermination des satellites du système*

Cette dernière étape permet d'aboutir au nouveau périmètre du système urbain de couverture (Fig.6.19). Le périmètre obtenu se trouve être bien différent, dans sa forme et dans sa construction du périmètre du projet initialement considéré dans la méthode. Il est cependant plus adapté et approprié au fonctionnement urbain local. Il présente l'avantage de déterminer de manière objective une aire minimale de fonctionnement local centré sur l'ouvrage de couverture, sans considération politique ou de découpage administratif. Il permet ensuite d'inclure les éléments, hors du premier périmètre, considérés comme structurants, et qui ont une incidence possible sur le fonctionnement de la couverture, sur l'espace qu'elle supporte, et qu'elle recouvre. Cette étape se veut sélective, autrement dit il s'agit de conserver uniquement des éléments satellites et non de procéder à un élargissement de périmètre, afin de ne pas inclure des espaces non concernés qui viendraient biaiser les résultats. Ainsi, procéder de cette façon, conduit à définir des limites du système en se basant uniquement sur les espaces qui impactent ou sont impactés par la couverture.

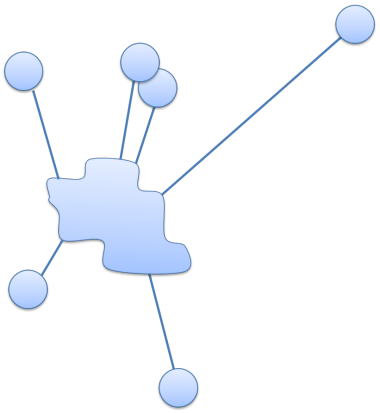


FIG. 6.19 – *Périmètre obtenu par application du protocole*

Le protocole permet de définir une démarche rigoureuse pour la détermination d'un périmètre du système urbain de couverture.

6.2.3 Application du protocole et définition du périmètre fonctionnel sur Porte d'Italie

Le protocole de détermination du périmètre fonctionnel du système étant élaboré (Fig. 6.20), il convient à présent de l'appliquer au deux cas d'étude. L'application est tout d'abord menée sur le cas de Porte d'Italie qui a conduit à l'élaboration de ce protocole.

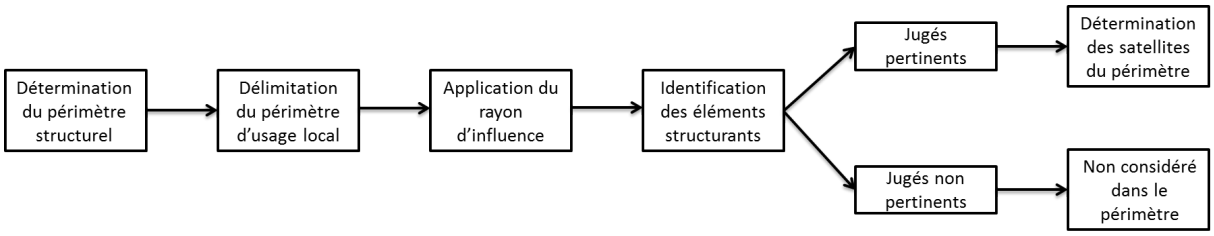


FIG. 6.20 – *Protocole de détermination du périmètre du système urbain de couverture*

Le lancer de rayons pour la détermination du périmètre local est concluant. Le fait de générer un nombre important de rayons à permis de passer outre les irrégularités cadastrales. Lors du processus, une parcelle au niveau de Kremelin-Bicêtre a néanmoins été oubliée. Elle a donc fait l'objet d'un ajout manuel. Elle correspondait à la troisième parcelle intersectée par le rayon du fait de l'irrégularité du cadastre. Enfin, la recherche des éléments structurants a donné lieu à la détermination de seize satellites du périmètre. Par exemple, sont considérés comme satellites intégrés au système : deux façades de commerces au nord du périmètre d'usage local, les accès au boulevard périphérique, aux stations de métro également ou encore l'hôpital situé au Kremelin-Bicêtre. En revanche, une zone de commerces parisienne, au nord est de la Porte d'Italie constitue un élément structurant volontairement écarté du fait de son absence d'impact sur les populations évoluant dans le périmètre d'usage local.

Sur les scénarios à l'étude, seul le deuxième dispose d'une couverture. C'est donc sur celui-ci que le périmètre du système a été défini, puis transposé sur les deux autres. Cela doit permettre d'appliquer l'évaluation dans un système urbain selon trois « forme » de couverture (pas de couverture, une passerelle, une passerelle et une couverture), et d'y porter un regard comparatif. L'étude portant sur l'application de la méthode d'analyse fonctionnelle d'un système en se focalisant sur l'action de la couverture, il est apparu pertinent de considérer un même périmètre dans lequel la couverture prend une forme plus ou moins dégradée. A l'issue de cette application, le résultat suivant est obtenu(Fig.6.21). Le périmètre au centre de la figure en bleu correspond au périmètre d'usage local obtenu par lancé de rayon. Les satellites en violet autour de ce dernier correspondent aux éléments considérés comme structurants.

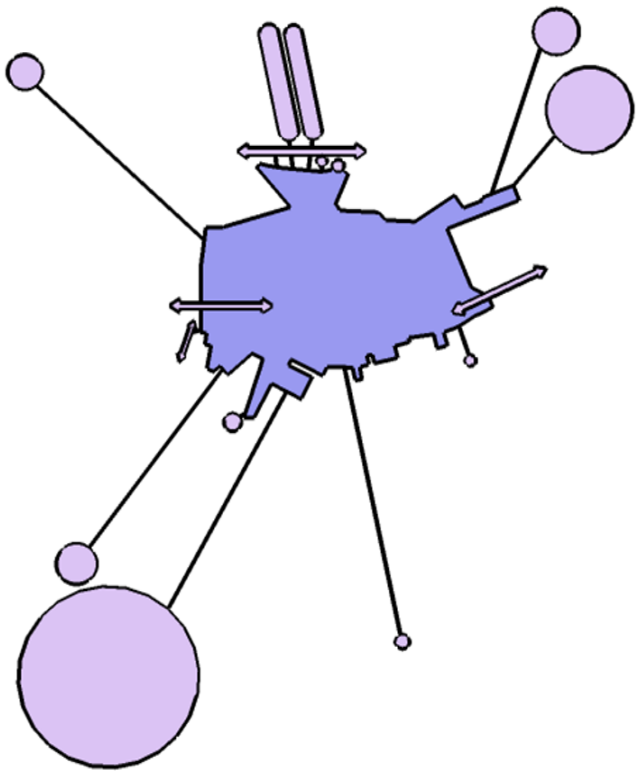


FIG. 6.21 – *Périmètre fonctionnel sur le cas d'étude de Porte d'Italie*

6.2.4 Spécification des espaces et composition structurale des systèmes

Le périmètre fonctionnel du système urbain de couverture étant à présent défini sur le cas parisien, la déclinaison structurale du système peut être engagée. Il s'agit d'identifier dans ce périmètre les quatre espaces spécifiés : espace actif, espace habité, espace équipé et espace mobile (cf. section3.3.3.1 du chapitre 3). On procède ainsi pour chacun des trois scénarios (Fig.6.22).

La spécification menée ici ne fait pas apparaitre de différences notables entre l'état existant et les scénarios. L'état existant ne diffère des deux scénarios proposés par l'agence que par la composition du quartier Paul Bourget et l'absence de traitement du périphérique parisien. Les deux propositions intègrent cette nouvelle programmation, et de fait, une diversité plus importante des espaces sur le quartier en projet. De manière assez logique, puisque non considérés par la requalification, les espaces alentours compris dans le périmètre ne diffèrent en aucun point. La seconde différence s'explique par la présence de la passerelle dans le premier scénario et de la couverture dans le deuxième. La passerelle ajoute une fine bande d'espace mobile reliant les deux rives de infrastructure. La couverture proposée dans le scénario 2, présente quant à elle plusieurs types d'espaces (espaces mobile, équipé et actif) autour du franchissement préexistant.

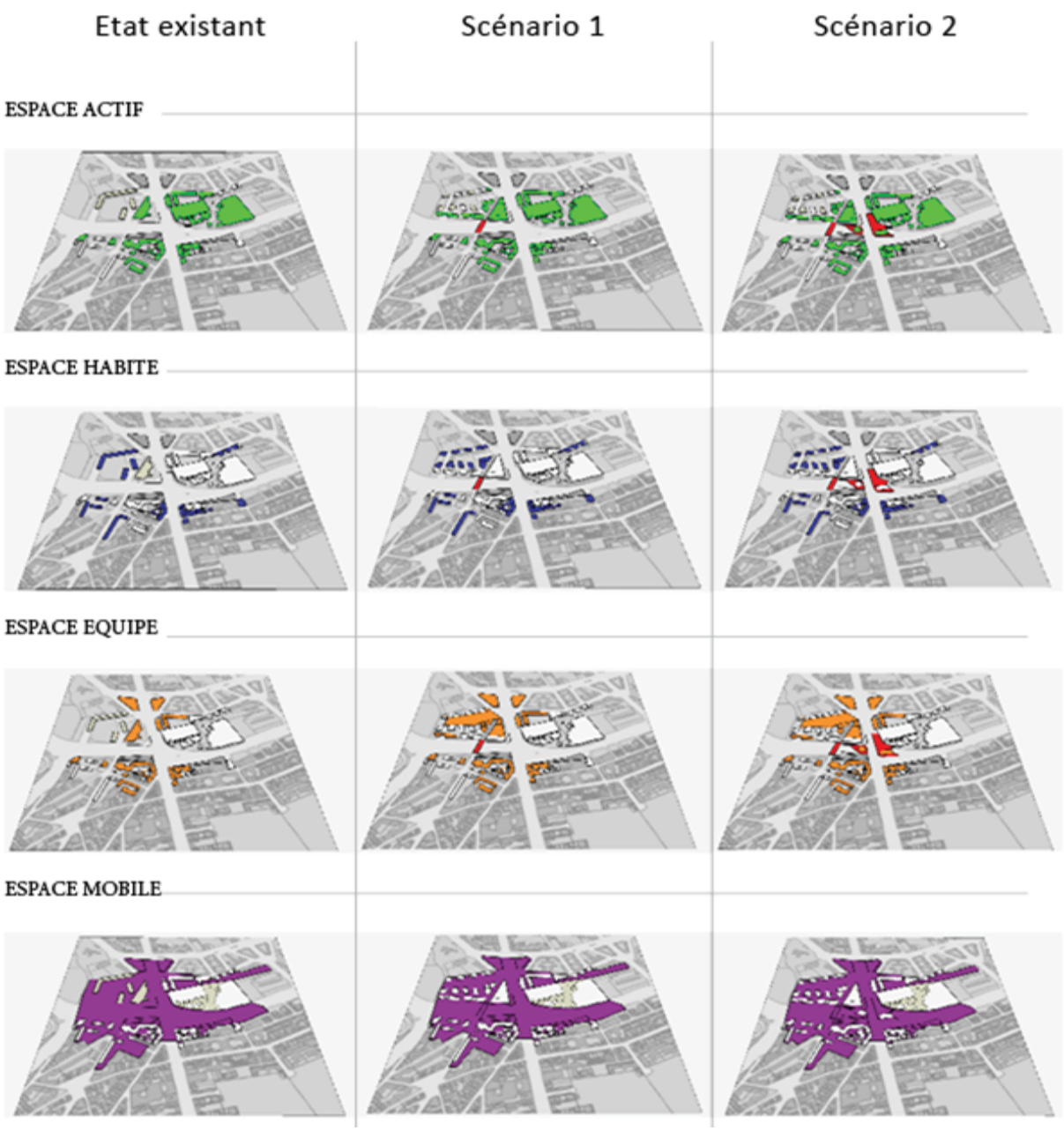


FIG. 6.22 – *Spécification des espaces et composition structurale sur le cas d'étude de Porte d'Italie*

6.2.5 Application de la méthode sur un cas d'étude : analyse fonctionnelle sur Porte d'Italie

L'application de l'analyse fonctionnelle sur le cas de Porte d'Italie revient à se référer au jeu de fonctions construit précédemment et à conserver pour chacun des trois scénarios, les fonctions potentiellement effectives au vue de la composition du système. Pour chacun des deux scénarios et pour l'état existant, les fonctions conservées sont regroupées par niveau d'action et fonction générique à laquelle elles répondent. Des graphiques sont construits sur ce principe, pour les fonctions de rang 2 puis pour les fonctions de rang 3. Les diagrammes relatifs au jeu de fonctions générique sont indiqués en référence pour chacun de ces rangs. Cela nous permet d'obtenir le résultat suivant (Fig.6.23).

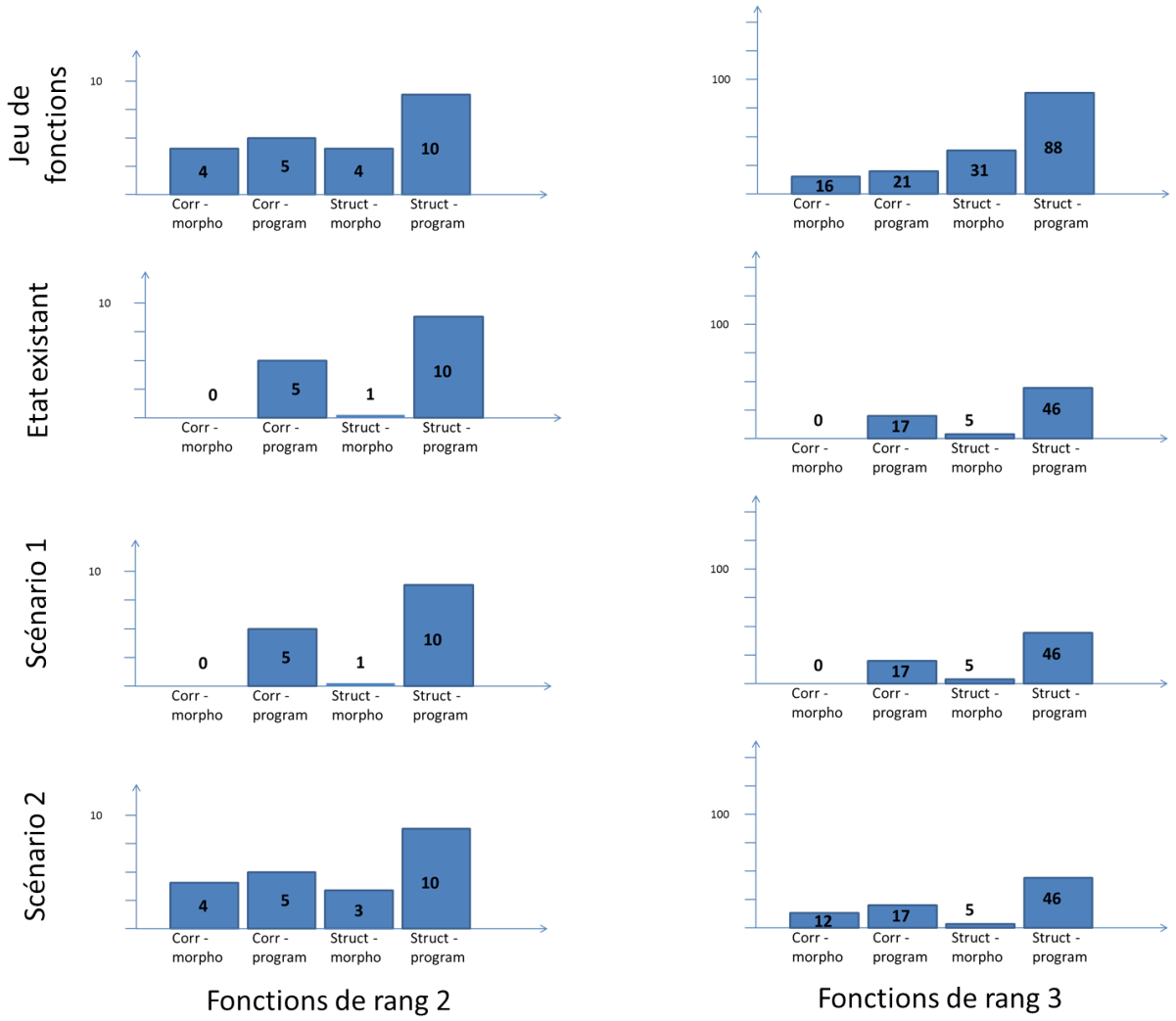


FIG. 6.23 – *Synthèse des fonctions potentiellement effectives pour chaque scénario*

Alors que les systèmes des deux premiers scénarios décrivent une composition structurale différente du fait de la programmation du quartier Paul Bourget et l'intégration de la passerelle au dessus de l'infrastructure, les résultats issus de l'application de l'analyse fonctionnelle sont parfaitement identiques. L'adoption d'un raisonnement centré sur le rôle de la couverture dans le mécanisme fonctionnel du système justifie ce propos. Ces deux cas de figure ne comportant pas de couverture et disposant chacun d'une structuration riche en types d'espace, ils apparaissent dans un premier temps très proches dans leur fonctionnement global.

Très logiquement, les deux premiers scénarios ne remplissent quasiment aucune fonction au niveau de l'action morphologique. Cela s'explique puisque les fonctions s'exprimant à ce niveau passent par l'action morphologique de l'ouvrage couverture dans le système. Les seules fonctions potentiellement remplies correspondent à la création de foncier à destination de l'espace mobile. La traversée préexistante du boulevard dans le prolongement de l'avenue de la porte d'Italie permet l'acheminement de flux de circulations motorisées et piétonnes de Paris vers le Kremelin-Bicêtre et inversement,

ainsi qu'une desserte exclusivement motorisée du boulevard périphérique. Le scénario 1 ajoute à cela la passerelle permettant un accès doux entre les deux rives de l'infrastructure. Ce résultat permet d'apporter des éléments de validation de la méthode. Les fonctions inhérentes à la présence de la couverture apparaissent justement comme non effectives dans les systèmes proposés par ces scénarios, ne comportant pas de couverture.

Ainsi, le second scénario, par le biais de la couverture conduit, contrairement aux deux autres, une réelle action de transformation morphologique de l'espace. Cette action permet notamment d'agir au niveau de l'infrastructure pour la réduction des nuisances environnementales qu'elle génère et pour la création et l'exploitation d'espace au-dessus de celle-ci. Les fonctions morphologiques sont cette fois représentées dans le résultat obtenu. Concernant les fonctions de rang 2 par exemple, quatre fonctions de correction morphologique sont affichées (sur les quatre du jeu de fonctions initial) et trois fonctions de structuration à ce même niveau (sur les quatre du jeu de fonctions initial). La fonction « créer du foncier à destination de l'espace habité » est la seule fonction de rang 2 au niveau morphologique qui n'apparaît pas dans les résultats. L'absence de logement sur la couverture (et donc sur le foncier qu'elle supporte) explique cela.

Les fonctions répondant à la fonction générique « structurer » et s'exprimant au niveau programmatique sont entièrement représentées dans les trois cas. En effet, la présence des quatre spécifications d'espaces sur les deux rives de l'infrastructure explique en partie cette observation. Le système détaillé à un niveau de granularité plus fin confirme la richesse de fonctions potentiellement effectives sur ce site mais apporte cependant des précisions de composition et donc des fonctions de « mise en proximité » des éléments.

Le manque de données concernant les réseaux techniques n'a pas permis de considérer les fonctions qui s'y rapportent. Ces données correspondent à la présence, la localisation et les caractéristique des réseaux d'électricité, d'eau, d'assainissement, de gaz, de télécommunication, de déchets et enfin d'autres types de réseaux comme le chauffage urbain par exemple. Elles doivent permettre d'évaluer la continuité de réseaux l'accessibilité pour les différents espaces du système. Cependant, elles n'ont pas pu être mises à notre disposition pour cette étude. Les fonctions relatives aux réseaux technique ne pourront donc pas être intégrées dans cette analyse.

6.3 Confrontation et retours opérationnels sur la méthode

L'application de la méthode sur le cas de Porte d'Italie a permis d'élaborer un protocole de définition du périmètre du système urbain de couverture. Elle a également conforté la pertinence de la méthode d'analyse fonctionnelle appliquée à ce type d'objet et notamment à des couvertures au sein de leur système. Il est important à présent d'apporter un regard critique d'acteurs susceptibles d'utiliser cette méthode dans le cadre de projets. Toujours dans l'optique de valider le travail effectué, il est proposé de la confronter à un regard opérationnel. L'intérêt est d'assoir les points pertinents et efficaces pour l'évaluation des couvertures, de rectifier des éléments qui sont au contraire en décalage avec la réalité du terrain et de cibler les limites de la méthode et du modèle proposé dans ce travail

de recherche.

6.3.1 Appropriation opérationnelle de la méthode sur le cas de Rubi

A l'application du protocole, le périmètre du système sur Rubi apparait comme suit (Fig.6.24). Le résultat met en évidence quinze satellites. A la différence de Porte d'Italie une part de ces satellites s'apparentent en fait à des agrégats d'éléments structurants comme le centre ville ou encore la zone d'activités. Cet écart avec le cas francilien résulte de la différence de morphologie, de densité et du contexte urbain de la couverture étudiée. Le grand nombre de satellites identifiés traduit une interdépendance certaine entre l'espace délimité par le périmètre d'usage local correspondant à peu près au quartier de gare et les espaces alentours. Par ailleurs, le fait même que la couverture soit attenante à une gare confère nécessairement un degré important d'attractivité. La description détaillée de l'application du protocole de définition du périmètre du système urbain de couverture sur les deux cas est consultable en annexe de ce mémoire (cf. Annexe F).

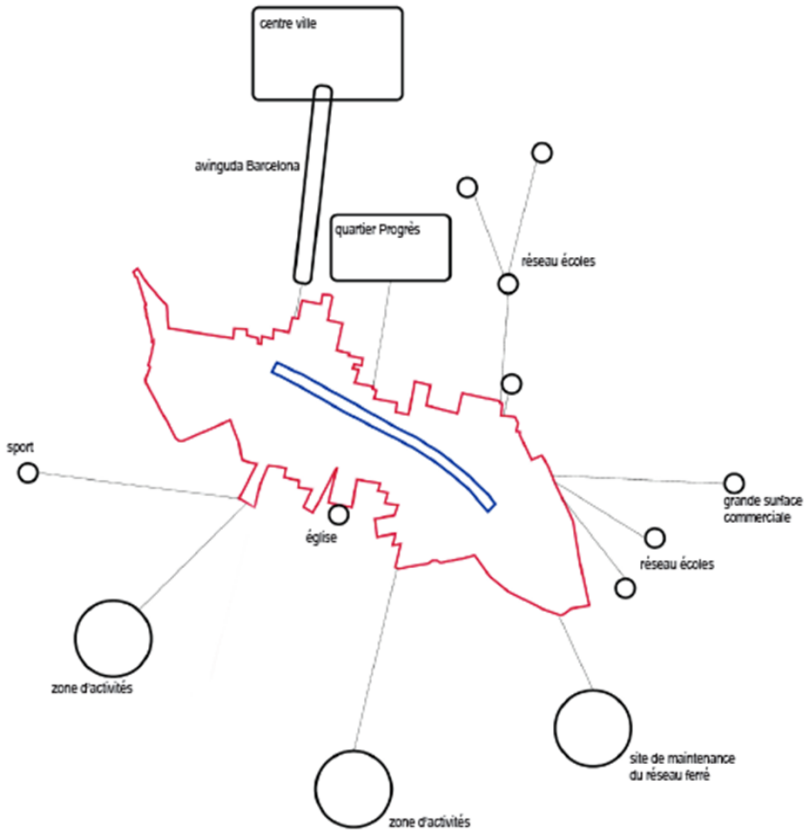


FIG. 6.24 – *Périmètre fonctionnel sur le cas d'étude de Rubi*

La détermination des différents types d'espaces sur le périmètre du système a pu se faire aisément. Les espaces mobile, équipé, actif et habité sont représentés sur la figure ci dessous (Fig.6.25). La spécification du système de Rubi s'est appuyée sur la décomposition générique de l'espace, au niveau de granularité le plus fin (section 3.3.4 à la page 81). Chaque composant des différents espaces a ensuite été identifié sur le terrain puis assigné à la ou les spécifications correspondantes.

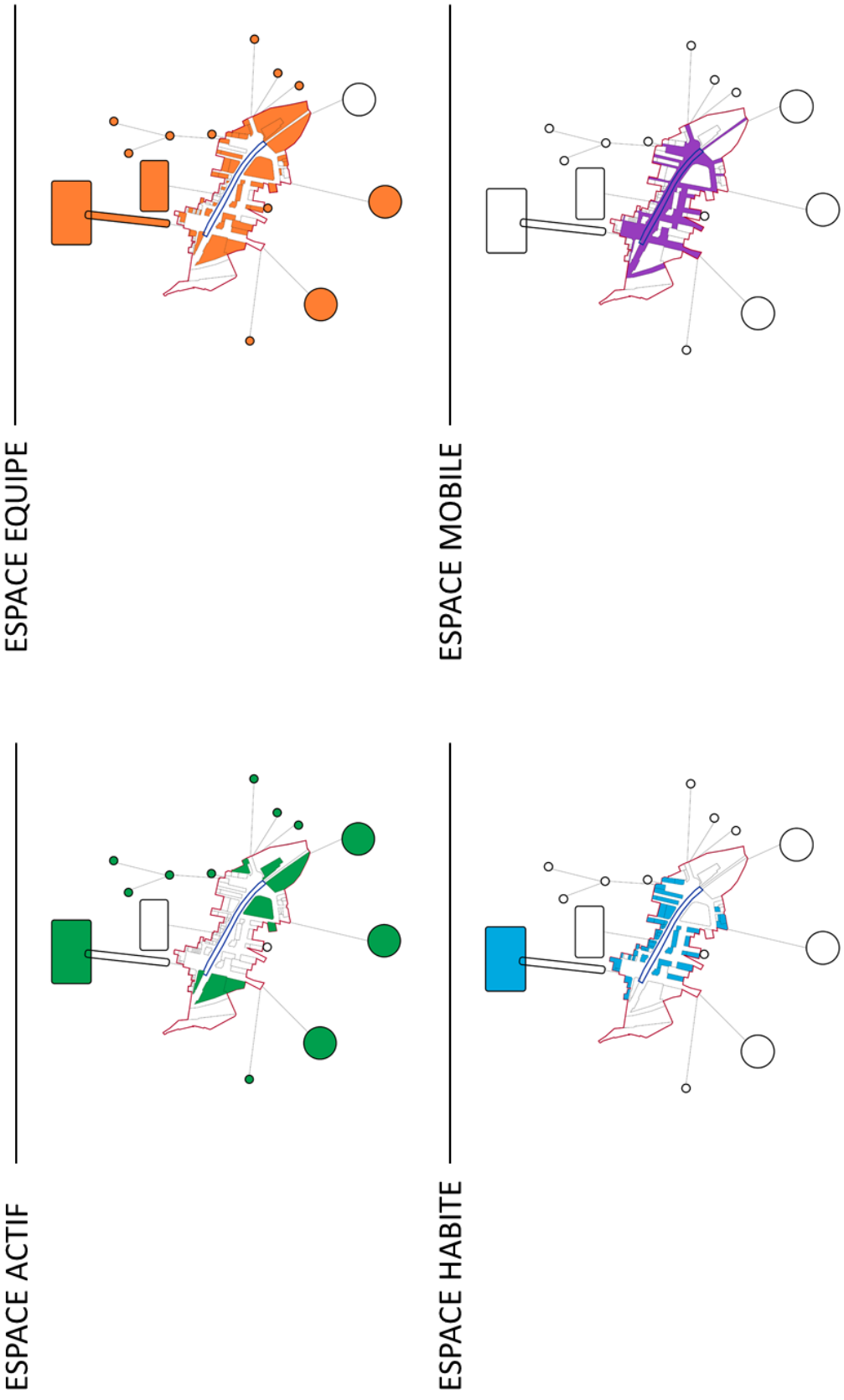


FIG. 6.25 – *Spécification des espaces et composition structurale sur le cas d'étude de Rubi*

Le procédé d'identification des fonctions est le même que pour le cas de la Porte d'Italie. La description fonctionnelle de la couverture de Rubi s'obtient en se référant aux éléments composant le système et à la grille exhaustive des fonctions. Cette étape de la méthode n'a cependant pas été réalisée lors de cette application. Elle s'est avérée moins évidente que la description structurelle du système et de fait plus confuse à l'appropriation.

6.3.2 La disponibilité des données

La question de la disponibilité des données nécessaires à l'application de la méthode a constitué un des retours de la méthode. Le problème s'est posé lors de la détermination de la composition des systèmes urbains de couverture sur Rubi et Porte d'Italie. Les informations concernant les réseaux techniques ont par exemple pu être récoltés de manière très inégale. Ce manque de données n'a pas permis de considérer les fonctions mettant en relation les réseaux techniques. Le fait d'écarter ses fonctions influe sur les résultats obtenus. Un second exemple illustre le problème de manque de données : les logements vacants. En effet, si l'information relative aux logements principaux, secondaires et occasionnels se vérifie facilement, il est en revanche beaucoup plus difficile de récupérer celle concernant leur vacance. De la même manière que pour les réseaux techniques, les fonctions concernant les logements vacants n'ont pas pu être considérées.

Le manque de données sur Porte d'Italie peut également s'expliquer par la temporalité du projet. En effet, la méthode s'applique dans ce cas sur un scénario en avant projet, et ne permet de fait pas de disposer de l'ensemble des données nécessaires à l'application de la méthode et plus particulièrement d'avoir les informations à un niveau de granularité très fin.

Les données qui ont manqué lors de l'application de la méthode sur les cas d'étude ne sont *a priori* pas inexistantes. Elles se sont avérées indisponibles à un acteur du projet au moment de l'application. La méthode se veut utilisable et appropriable par l'ensemble des acteurs d'un projet de couverture.

6.3.3 Réflexion systémique et application opérationnelle

La description structurale des systèmes urbains de couverture sur les cas de Rubi et de Porte d'Italie a permis d'affiner la définition du périmètre du système urbain de couverture et encourage une validation de la démarche adoptée dans ce travail de thèse. Une fois le périmètre du système déterminé, après application du protocole décrit dans ce chapitre, la spécification par typologie d'espaces (mobile, habité, actif et habité) ainsi que la déclinaison à un niveau de granularité plus fin, permet de définir très clairement la composition urbaine du système. La considération d'entités urbaines en tant que systèmes et à travers cette entrée particulière semble complètement adoptée par les acteurs du projet. Outre les deux applications sur les deux cas d'étude, les échanges entretenus avec des bureaux d'étude ARCADIS et EGIS, et une agence de programmation urbaine [2] confirment également cette observation : la couverture est un objet de génie civil qui vient perturber une entité urbaine complexe ayant sa composition, et sa dynamique propre. Cette entité dans laquelle l'ouvrage

2. L'agence de programmation urbaine Alphaville a pris part à la réflexion systémique autours des projets de couverture dans le cadre du projet ANR CANOPEE https ://alphavilleurbanismes.wordpress.com/

prend part est un système urbain composé d'espaces spécifiés par usage et permettant à des populations de réaliser des activités. Sa description structurale permet de constituer la base pour déterminer le fonctionnement de la couverture dans son système. Les résultats obtenus au terme de l'analyse fonctionnelle sur le cas de la Porte d'Italie se sont avérés parfaitement cohérents avec la composition structurale du système, défini par spécification.

Les acteurs du projet sont conscients de la nécessité d'adopter un fonctionnement interdisciplinaire, voire transdisciplinaire, ainsi qu'une approche globale et systémique, permettant ainsi d'aborder des problématiques concernant des systèmes urbains complexes. En pratique, l'application des méthodes systémiques n'est pas encore réellement adoptée. L'exercice d'appropriation de la méthode sur le cas de Rubi illustre bien ce propos. Si la considération de systèmes urbains ne pose aucun problème, le processus de modélisation ne fait pas encore l'objet d'une appropriation opérationnelle.

En conclusion ...

Le modèle fonctionnel théorique a fait l'objet d'une application sur deux cas d'étude. Le choix des cas s'est porté sur deux terrains complémentaires : un projet de couverture de voies routières au niveau de Porte d'Italie (Paris) et un cas de couverture de voies ferrées en exploitation à Rubi (Barcelone). Le but de la démarche visait à confronter la méthode proposée dans ce travail de recherche à une la réalité opérationnelle, de manière à tester le modèle, et à corriger les incohérences identifiées.

Jusque là déterminé selon les limites de projets (périmètre de ZAC par exemple), la définition du périmètre du système urbain de couverture a relevé une première interrogation. Le cas d'étude parisien dessine son périmètre selon une délimitation non centrée sur l'ouvrage de couverture. Ce tracé a remis en question la démarche puisque la méthode d'analyse fonctionnelle externe est dépendante de ce qui se trouve à l'intérieur de ce système. En excluant des espaces sur l'une des rives de l'infrastructure couverte, des fonctions de réduction de la coupure apparaissaient (à tort) comme non remplies. Il a donc été proposé de rectifier ce problème en établissant un protocole de définition d'un périmètre de fonctionnement considéré comme nouveau périmètre du système urbain de couverture.

Ce travail applicatif a également pointé quelques difficultés d'appropriation de la méthode par des acteurs concernés par un projet de couverture. Si le protocole de définition du périmètre du système semble être assimilé, l'application de l'analyse fonctionnelle s'est avérée moins évidente.

Une fois le système défini, les fonctions effectives pour chacun des cas sont déterminées puis retranscrites par le biais de diagrammes par actions majeures et niveaux d'actions permet d'apporter une lecture des tendances fonctionnelles du système à l'étude. Ces résultats correspondent aux profils fonctionnels des cas étudiés. Dans le cas de Porte d'Italie, les profils de trois scénarios ont pu être comparés. La présence d'une connexion (pont) entre les deux rives de l'infrastructure dans les scénarios sans couverture affecte des propriétés de structuration similaire au scénario intégrant l'ouvrage de couverture. Il est pourtant raisonnable de penser que ces fonctions ne sont pas également remplies dans ces trois cas. Le résultat de l'évaluation mérite ainsi d'être complété par une approche quantitative.

Conclusion Générale

La couverture d'infrastructures de transports en milieu urbain

Les grandes infrastructures de transports routières ou ferroviaires entretiennent une relation paradoxale avec l'espace urbain qu'elles traversent. Initialement conçues pour répondre à un besoin de mobilité, de gestion des flux, et d'un changement d'échelle du territoire métropolitain, elles posent aujourd'hui question. Une évolution (extension et densification) de la ville a conduit à absorber spatialement les infrastructures sans les intégrer réellement. Elles constituent notamment une importante source de coupure en milieu urbain. Du fait de leur emprise importante, ainsi que de l'activité qu'elles supportent, elles fractionnent l'espace et sa dynamique en deux. Elles s'avèrent même parfois complètement infranchissables. Outre cette problématique, les infrastructures de transports terrestres apparaissent localement comme de véritables monstres urbains générant bruit, pollutions, et autres désagréments pour les populations alentours.

Les couvertures d'infrastructures sont des ouvrages de génie civil dont l'objectif est de recouvrir localement des voies d'infrastructures de transport routières ou ferroviaires en milieu urbain. Elles peuvent se présenter sous la forme de structures légères, autrement dit de structures ne supportant que leur poids propre, ou par des structures lourdes permettant la création de sol urbain, construit ou non. Ces objets techniques s'intègrent au sein d'opérations urbaines plus larges et répondent à des problématiques de politiques publiques relatives à des questions urbaines, foncières, etc. Comme le montrent de nombreux exemples qui se multiplient dans le monde, ces couvertures sont des solutions de plus en plus envisagées dans le traitement de point noirs, où l'infrastructure et l'espace urbain peinent à cohabiter. Pourtant, les acteurs impliqués dans ces opérations font face à un manque de méthode et d'outil d'évaluation.

Définition et spécification d'un système urbain de couverture

La multiplicité des acteurs et des échelles spatiales, associée à la problématique omniprésente de la dynamique urbaine font que l'intégration de la couverture dans le système urbain un problème complexe. La couverture, en tant qu'objet de génie civil, intervient comme une modification de ce système urbain. Face à cette complexité et au besoin d'apporter une vision globale et transversale à ces objets particuliers, le choix de la méthodologie à adopter s'est assez naturellement tourné vers la systémique. Il s'agit alors de procéder à la définition et à la modélisation du système urbain de couverture.

Modéliser un système nécessite d'en connaitre ses limites. La tâche n'est cependant pas évidente. L'étude de couvertures telles que celles de Porte de Lilas, de Paris Rive Gauche ou encore de la L2 à Marseille a révélé une intégration de l'ouvrage au sein d'un projet urbain plus large. Ainsi, il est d'abord apparu logique de considérer les contours des projets comme limites du système urbain de couverture. Cette hypothèse a tout d'abord suscité quelques questionnements quant à la pertinence des tracés de ces opérations avec la définition d'un système. Ces doutes se sont confirmés lors du travail d'application de la méthode sur un cas concret, et plus particulièrement sur le cas de Porte d'Italie. Initialement, l'ouvrage de couverture, d'abord absent de la programmation, n'en est pas l'élément central. Ainsi, le périmètre du système exclut une part importante de l'espace impactant

et impactés par la couverture. Ensuite, cette application a soulevé un autre point à corriger : l'intérieur du système se réduit au périmètre concerné par le projet mais ne considère pas forcément les usages et dynamiques urbaines. A cela s'ajoutent d'éventuels découpages territoriaux et politiques qui conditionnent les limites de projets. A ce titre, la contribution de ce travail a consisté à proposer un protocole de définition d'un périmètre fonctionnel du système urbain de couverture. Celui-ci se base sur un premier périmètre spatial local centré sur la couverture puis sur l'intégration d'éléments structurant à plus grande échelle ayant une influence sur le fonctionnement du premier périmètre.

Il a été proposé dans ce travail de recherche de spécifier un système composé d'un espace urbain et de populations exerçant une activité dessus. La couverture est pressentie comme un élément structurel modificateur d'un système urbain. En se référant à la modélisation proposée par Alexandre Moine, le système urbain de couverture s'apparente à un sous-système spatial d'un méta-système territorial. Celui-ci peut être défini comme un espace urbain interagissant avec des populations. Populations et espace urbain sont ensuite spécifiés en quatre types non exclusifs basés sur l'usage :

- un espace mobile, sur lequel les populations se déplacent ;
- un espace habité, permettant aux populations de se loger ;
- un espace actif, support des activités professionnelles des populations ;
- un espace équipé, sur lequel les populations font l'usage de différents équipements et réseaux techniques.

Pour aboutir à la définition et la modélisation du système et de la couverture dans son système, cette description structurale a dû être combinée à un description fonctionnelle.

Usage de l'analyse fonctionnelle pour la modélisation d'un système urbain de couverture

Le choix, dans ce travail de recherche, s'est porté sur l'utilisation d'une méthode d'analyse fonctionnelle et plus particulièrement de la méthode APTE. Celle-ci permet d'identifier, de modéliser et de structurer les interactions effectives entre un objet et un élément de son environnement, en l'occurrence ici, entre l'ouvrage de couverture et les éléments composant le système dans lequel il s'intègre.

La description fonctionnelle du système urbain de couverture se fait en deux temps. Elle doit tout d'abord permettre de saisir le rôle de la couverture au sein du tissu urbain. Cet objectif est celui qui va justifier l'existence du système et conduire l'ensemble de son fonctionnement. Il s'agit d'une étape cruciale qui doit être menée avec rigueur.

Un état des lieux des insatisfactions et « besoins exprimés » avant-couverture est alors entrepris pour comprendre dans quelle mesure une opération de couverture est envisagée. Une modélisation conceptuelle a permis de déterminer l'ensemble des processus nuisances/gênes effectifs entre infrastructure de transport et espace urbain. La synthèse des résultats met en relief une proportion

importante des nuisances générées par la cohabitation de les deux entités et fait apparaître un conflit évident opérant au sein de l'environnement. Se dessine alors le besoin de résoudre ce conflit de cohabitation urbaine. L'action de la conciliation évoquée peut donc être envisagée comme un service : le fait de créer un service de conciliation urbaine apparait ainsi comme la finalité de l'objet couverture.

La description fonctionnelle du système urbain de couverture consiste à identifier l'ensemble des interactions existantes entre la couverture et les différents composants du système dans lequel il s'intègre. Ces interactions sont assimilées à des fonctions externes de la couverture. Pour cela, nous avons utilisé l'outil graphique pieuvre de la méthode APTE. Cette description a pu se faire à plusieurs niveaux de détails, notamment en s'appuyant sur la décomposition structurale du système à différents niveaux de granularité. Cinq fonctions « mères » ont été identifiées :

- Créer une proximité entre les espaces,
- Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport,
- Assurer le confort des populations sur les différents espaces,
- Créer du foncier à destination des espaces,
- Assurer l'efficience de l'infrastructure.

L'ensemble des 200 fonctions obtenues correspondent à des déclinaisons (« fonctions filles ») de celles-ci.

Cette application permet de décrire les potentialités offertes par la couverture et la composition du système. Cet aspect est primordial puisqu'il permet ainsi de construire un modèle générique décrivant l'ensemble des fonctions possibles d'un système couverture. Ce modèle s'adapte ensuite à chaque cas pour l'application. Chacun des cas correspond alors à un état « dégradé » du modèle pour lequel la méthode détermine son jeu de fonctions propres.
Une première lecture de ces résultats permet de porter une évaluation qualitative globale du fonctionnement de la couverture dans son système urbain.

L'une des principales difficultés rencontrées durant ce travail de recherche réside dans la différence de vocabulaire existant entre les acteurs concernés par les projets de couverture. Les échanges relatifs à l'emploi de la méthode d'analyse fonctionnelle comme méthode systémique pour modéliser les couvertures s'est heurté à de véritables barrières sémantiques autour de la notion de fonction.

Perspectives d'évolution de la méthode

Le travail mené et proposé dans ce mémoire de thèse consiste à élaborer une méthode d'évaluation, et de diagnostic des systèmes urbains de couverture. Elle permet une appréhension et une compréhension globale du fonctionnement de la couverture dans son système et permet son évaluation qualitative. La détermination de critères et d'indicateurs apporte ensuite les éléments complémentaires à l'évaluation. Un travail a déjà permis de recenser un grand nombre de critères et d'indicateurs capable d'évaluer plus finement chaque fonction. Dans l'état actuel, le jeu d'indicateurs ne présente

pas de structuration et ni d'organisation. Il n'est donc pas directement exploitable sur le jeu de fonctions établi par le modèle. Un travail de mise en cohérence est donc impératif pour mener une évaluation quantitative de la couverture dans son système urbain.

Le résultat issu de la méthode peut être employé dans le cadre d'un processus de décision, et donc, de fait, s'apparenter à un outil d'aide à la décision. Bernard Roy et Daniel Bouyssou définissent l'aide à la décision comme une « activité de celui, qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroitre la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. » [Roy and Bouyssou, 1993]. Cette longue définition introduit un certain nombre de notions incontournables dans l'emploi du modèle au sein d'un processus de décision.

Un modèle de couverture pour qui ?

Un ou plusieurs intervenants sont face à un problème impliquant de se référer à un (ou des) modèle(s) pour orienter la réflexion et positionner le résultat vis-a-vis de besoins et d'objectifs définis. Le modèle global du système urbain de couverture défini et proposé dans ce travail de recherche a pour perspective d'intégrer un processus de décision, d'être intelligible et exploitable par l'ensemble des intervenants, acteurs, prenant part à ce processus.

Un modèle de couverture, Pourquoi ?

Le modèle exposé ici, d'apporter des informations, des résultats et conclusions de manière à alimenter et *a priori* orienter le cheminement de la réflexion entrepris par les acteurs concernés par un projet de couverture pour prendre une décision. Dans cette optique de décision, il peut y avoir différentes pistes d'usage et d'exploitation du résultat. Le résultat de la méthode peut être employé dans une optique de comparaison de plusieurs scénarios d'un projet. Il peut renseigner sur la manière dont le système va réagir en fonction de la composition qui lui est affectée. En effet, il a été démontré dans ce mémoire que la composition du système est déterminante de son fonctionnement. La présence d'un réseau, d'un équipement, etc. va nécessairement influer sur le résultat du modèle. Une comparaison entre deux couvertures sur des lieux différents peut également être faite, par exemple sur deux portes du boulevard périphérique parisien. Cette information peut permettre aux décideurs de se positionner sur le scénario qui leur semble le plus pertinent, voire efficient, face à leurs besoins. Toujours sur le principe de comparaison, il sera également possible d'évaluer plusieurs états d'un même système à des instants différents (avant, et après couverture par exemple). Ce procédé pourrait permettre d'appréhender l'évolution du fonctionnement du système urbain de couverture (et de la couverture dans son système urbain). Enfin, la méthode peut être appliquée dans le but d'établir un diagnostic simple sur un système. Il s'agit alors d'avoir une vision globale de celui-ci et d'apprécier son « efficacité » vis-à-vis du besoin exprimé.

Perspectives d'application et transposition de la méthode sur d'autres objets urbains

La méthode proposée dans ce mémoire s'attache à l'évaluation fonctionnelle d'une couverture d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain. De manière plus générale, il s'agit d'un modèle décrivant et évaluant la modification d'un système complexe urbain dense par l'intégration d'un ouvrage de génie civil. L'une des perspectives de la méthode serait donc de la transposer et de l'appliquer à d'autres systèmes urbains présentant des problématiques similaires.

L'une des pistes envisagées pour étendre l'application est d'appréhender un linéaire d'infrastructures, portant une ou plusieurs couvertures, dans son intégralité. De fait, la ou les couvertures sont considérées comme un réseau d'ouvrages au cœur du système. La question de la coupure pourrait ainsi être traitée sur la totalité d'une infrastructure et de fait, à une échelle plus large. Dans un esprit de diagnostic général, ce type de réflexion a été mené sur le boulevard périphérique parisien par l'agence TVK, comme il l'a pu être évoqué dans ce mémoire à plusieurs reprises. L'autoroute A86 ou les sections extra-muros du RER A pourraient également faire l'objet de cette application ; ces dernières portant d'ores et déjà un nombre important de couvertures. Cette perspective d'application soulève cependant quelques questionnements. Le premier concerne les différences de contextes de tissus urbains traversés, le long de l'infrastructure. En effet, l'échelle spatiale est beaucoup plus étendue que dans le cadre d'une modélisation locale, et peut de fait induire une diversité de compositions et morphologies urbaines. Par ailleurs, l'infrastructure peut traverser l'espace différemment le long de son tracé : en talus, à niveau, en tranchée. C'est le cas du boulevard périphérique parisien par exemple. Du fait des variations de composition urbaine et de typologie d'infrastructure, le conflit pour lequel la couverture agit peut également éprouver des variations. Comment alors gérer la définition du conflit ? Sachant que la description fonctionnelle dépend de la composition urbaine et tend à réduire ou résoudre ce conflit, comment aborder l'analyse fonctionnelle sur ce linéaire ?

Une autre possibilité serait d'employer la méthode pour l'évaluation d'un tout autre objet. L'application peut concerner par exemple un projet impliquant l'implantation ou la modification d'une gare. Le projet du Grand Paris Express offre un terrain particulièrement intéressant à ce sujet. En effet, le tracé prévoit la création ou le développement de gares au sein des tissus urbains déjà constitués. Celles-ci vont avoir un premier impact local dans le quartier d'implantation. L'APUR considère que ces quartiers se dessinent dans un rayon de 800m autour d'une gare. Une réflexion particulière se porte autour de ces espaces et s'inscrit dans une logique de renouvellement urbain [APUR, 2014a]. Outre l'impact local, ces pôles de transports ferroviaires vont *a priori* avoir un effet sur les mobilités métropolitaine et créer de nouvelles connexions. Finalement, l'implantation ou le développement d'un grand équipement vient modifier un système urbain existant. Il s'agit donc d'un cadre assez proche de celui de la couverture. Aussi, l'application du modèle exposé ici semble pertinente et pourrait apporter des perspectives d'évaluation intéressantes.

Perspectives d'application de la méthode : méthode générique pour la programmation urbaine

De manière plus générale, ce modèle d'évaluation peut être envisagé pour une application générique en programmation urbaine. Des contextes urbains de plus en plus complexes [Allaire, 2012] conduisent les acteurs de l'aménagement à se tourner ou à envisager l'usage de la systémique. Dans le cadre du projet CANOPEE, une agence de programmation a conduit une étude sur l'application de l'analyse fonctionnelle à leur vision du système urbain en s'appuyant sur le modèle exposé ici. Le système considéré était délimité par le périmètre du projet et se composait de trois éléments [Garle, 2015] :

- « Élément 1 : Logements programmés »
- « Élément 2 : Activités économiques programmées »
- « Élément 3 : Équipements et commerces programmés »

Ce système s'inscrivait dans une imbrication de systèmes urbains à différentes échelles. Autrement dit, le système urbain délimité par le projet, comme présenté ici, intégrait un système délimité par le quartier, qui intégrait lui-même un système à l'échelle de la ville. Chacun d'entre eux se décrivait structuralement selon les mêmes éléments considérés à l'échelle du système qu'il compose.

Ce système a ensuite été soumis aux différentes étapes de l'analyse fonctionnelle. L'application de la méthode a conduit tout d'abord à la détermination de la finalité : « Le projet contribue à la performance du système quartier ». L'identification des fonctions grâce à l'utilisation du diagramme pieuvre a révélé trois fonctions principales et trois fonctions de contrainte :

- « FP1 : Améliorer la couverture[3] de la demande économique »
- « FP2 : Améliorer la couverture de la demande de commerces et services des habitants »
- « FP3 : Améliorer la couverture de la demande de commerces et services des actifs »
- « FC1 : Rééquilibrer/améliorer la qualité de l'offre économique »
- « FC2 : Rééquilibrer/améliorer la qualité de l'offre de logements »
- « FC3 : Rééquilibrer/améliorer la qualité de l'offre en commerces et services »

Ces fonctions ont ensuite été déclinées en sous-fonctions. Il a été choisi dans cette application de la méthode APTE de faire apparaitre à la fois les éléments internes au système (logements programmés, activités économiques programmées et équipements et commerces programmés par le projet) et les éléments externes (logements, activités économiques, équipements et commerces au sein du quartier).Ces fonctions identifiées, un travail de recherche de critères et d'indicateurs appropriés à l'évaluation quantitative de chaque fonction a été amorcé.

Cette appropriation de la modélisation fonctionnelle de système urbain telle qu'elle est présentée dans ce travail de thèse ouvre des perspectives d'application plus génériques que la seule évaluation des couvertures d'infrastructures. Par exemple, le projet *MUG* « Modélisation Urbaine Gerland »

3. Le terme de « couverture » employé ici correspond au fait de répondre à une demande et non à notre objet d'étude.

s'attache à l'étude du territoire de Gerland (quartier autour de l'équipement sportif : le stade Gerland) et la modélisation de l'impact d'un projet sur un système urbain dans lequel il s'intègre. Ce projet est conduit par un groupement d'acteurs : VERI, EDF et les start-up ForCity et The CoSMo Company [Garle, 2015]. Il affirme son positionnement face à la complexité du territoire et envisage de développer une méthode de modélisation systémique. Une application (et transposition) de la méthode de modélisation fonctionnelle, présentée dans le cadre de ce travail, pourrait de fait être envisagée sur ce type de projet.

Les conclusions de cet échange ont confirmé l'intérêt et le potentiel de l'application de l'analyse fonctionnelle en programmation urbaine. Il s'agit d'une étape permettant d'établir un nombre d'informations précieuses pour aborder un projet, en saisir les objectifs et évaluer son fonctionnement. Par ailleurs, elle permet de disposer d'une évaluation globale de l'état fonctionnelle du projet. De manière générale, le modèle permet de déterminer les impacts structuraux et fonctionnels d'un objet ou projet au sein d'un système urbain. Il parait donc approprié à l'exploitation opérationnelle au sein d'une équipe pluridisciplinaire. Il faut cependant préalablement se poser la question de la complexité. En effet, notre modèle a été élaboré pour répondre à la complexité de l'intégration des couvertures dans un système urbain. De fait, les méthodes et principes employés sont spécifiquement adaptés à l'appréhension de la complexité. Le modèle proposé dans le cadre de ce travail de thèse ne pourrait donc pas s'appliquer à une situation simple ou compliquée de façon pertinente.

Bibliographie

Adolphe, L. (2001). A simplified model of urban morphology application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and Planning B*, Vol.28 :pages183–200.

AFAV (2015). Qu'est ce que l'analyse de la valeur. Page internet : http ://www.afav.eu/.

Allain, R. (2004). *Morphologie urbaine. Géographie, aménagement et architecture de la ville. 254p.* Armand col edition.

Allaire, D. (2012). *Amélioration de la performance énergétique d'un système immobilier. Développement d'une approche systémique appliquée au parc immobilier du ministère de la défense. 634p.* PhD thesis, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée.

Anclaes, P., Jones, P., and Mindell, J. (2014). Quantifying community severance. 38p. Working paper.

APUR (2004). Porte des Lilas, Expertise des aménagements bus et de l'intermodalité. 49p. Technical report.

APUR (2014a). Monographie des quartiers de gare du Grand Paris. Monographie du quartier de gare Issy RER. 32p. Technical report.

APUR (2014b). Observatoire des quartiers de gare du Grand Paris. Analyse croisée des 16 gares de la ligne 15 sud. 60p. Technical report.

Barrère, C. (2003). Regards d'écrivains. In *Paris et ses Chemins de Fer*, pages 216–221.

Bavoux, J., Beaucire, F., Chapelon, L., and Zembri, P. (2005). *Géographie des transports. 232p.*

Bayle, C. and Warnier, B. (1993a). Faut-il en finir avec l'urbanisme de dalle ? *Urbanisme*, Vol. 266 :pages 36–38.

Bayle, C. and Warnier, B. (1993b). Seine-Rive-Gauche : tout-dalle or not tout-dalle ? *Urbanisme*, Vol.266 :page 52.

Beltrando, Y. and Hanappe, F. (2005). Les quartiers du boulevard périphérique. Une contribution de l'Apur à l'étude d'insertion urbaine du périphérique. 35p. Technical report, APUR.

Benedikt, M. (1979). To take hold of space : isovists and isovist fields. *Environment and Planning B*, 6 :pages 47–65.

Béraud, H. (2013). *Initier la résilience de service de gestion des déchets aux catastrophes naturelles. 449p.* PhD thesis, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée.

Beyer, A. (2005). Les échelles territoriales et temporelles des réseaux de transport. In *Echelles et temporalités*, pages 73–87.

Bouillot, D. and Maurice, R. (2009). Les agrafes urbaines : Retisser la ville. L'insertion des voies rapides et des périphériques en milieu urbain. 56p. Technical report, Agence d'Urbanisme pour le développement de l'agglomération Lyonnaise.

Bourdon, D. (1999). *Evaluer les projets urbains. 110p.* Cahiers de edition.

Bowie, K. (2003). Débats ous la monarchie de juillet. In *Paris et ses Chemins de Fer*, pages 36–51.

Brasebin, M. (2014). *Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti. 241p.* PhD thesis, Université Paris-Est.

Brès, A. (1998). Le système des voies urbaines : Entre réseau et espace. *Flux*, pages pp 4–20.

Buchanan, C. (1963). Traffic in towns. 224p. Technical report, London HMSO.

Cambien, A. (2007). Une introduction à l'approche systémique. Appréhender la complexité. *Rapport d'Etude du CERTU*, page 86.

CANOPEE (2011). Projet CANOPEE. Document Scientifique. 76p. Technical report.

Capron, G. and Sanchez, P. (2002). L'urbanisme moderne de dalle, histoire d'un lent échouage urbain : le cas du centre-ville de Choisy-le-Roi. *Flux*, 50 :pages 20–33.

Cardia, C. (1999). Les autoroutes des années 60, monuments historiques ? In *Espaces et sociétés : infrastructures et formes urbaines, tome II architecture des réseaux. N°96*, pages 105–122. L'harmatta edition.

CCI Strasbourg et Bas-Rhin (2012). GCO 2016 Tous gagnants ! 44p. Technical report.

Cervero, R., Kang, J., and Shively, K. (2009). From elevated freeways to surface boulevards : neighborhood and housing price impacts in San Francisco. *Journal of Urbanism : International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, Vol.2 :pages 31–50.

Chandon, B. (2013). L'insertion urbaine des grandes infrastructures de transport : typologie opérationnelle et spatiale d'une interface transport-territoire. In *Rencontres de l'APERAU*, page 17.

Chandon, B. and Ducourtieux, L. (2015a). CANOPEE - Base de données des opérations de couvertures. Technical report.

Chandon, B. and Ducourtieux, L. (2015b). CANOPEE. Catalogue des opérations de couvertures et insertions d'infrastructures en milieu urbain. 209p. Technical report.

Cottet, F. and Grolleau, E. (2005). *Systèmes temps réel de contrôle-commande. Conception et implémentation. 559p.* Dunod edition.

Cristofol, A. (2011). Comment caractériser l'enclavement des ZUS ? Élaboration d'indicateurs d'enclavement physique des espaces urbains à l'aide d'un SIG. In *Conférence Internationale de Cartographie*, page 11p.

De Andia, B. (2003). Les chemins de l'utopie et du progrès. In *Paris et ses Chemins de Fer*, pages pp10–27. Action art edition.

De la Bretesche, B. (2000). *La méthode APTE. Analyse de la valeur. Analyse fonctionnelle. 239p.* Pétrelle edition.

De Rosnay, J. (1975). *Le macroscope, vers une vision globale. 314p.*

De Sola, B. (2007). Urbanitzacio cobertura dels F.F.G.C pel seu pas per Rubi. Page internet : http ://www.bernardodesola.com/Cat/PROJECTES/I13.html.

Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E., and Saint-Paul, L. (2003). L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? 11p.

du logement et de l'égalité des territoires, M. (2014). Effet de la suppression du COS dans les quartiers de lotissement. 3p. Technical report.

Dubois-Maury, J. (2007). Servitude d'utilité publique par Jocelyne Dubois-Maury. Page internet : http ://www.outils2amenagement.certu.fr/une-vue-d-ensemble.

Dupuy, G. (1984). Villes, systèmes et réseaux : le rôle historique des techniques urbaines. *Réseaux*, 2 :pp3–24.

Dupuy, G. (1991). *L'urbanisme des réseaux. Théories et méthodes. 198p.*

Durand, D. (1979). *La systémique. 126p.* 10ème édit edition.

France Info (2015). Les autoroutes en ville pourront être limitées à 90 km/heure. 1p.

Fund, M. (2012). Usage d'indicateurs 3D et aménagement urbain : vers l'automatisation de l'analyse séquentielle. 99p. Technical report.

Gallez, C. (2014). Coordonner transport et urbanisme ? Doctrines, représentations et pratiques locales (1900 - 2000). In *Histoire des transports et de la mobilité / Transport and mobility history. Entre concurrence modale et coordination (de 1918 à nos jours) / Between modal competition and coordination (1918 in our days)*, pages 233–248. Alphil-pre edition.

Garle, V. (2015). Analyse systémique et programmation urbaine : analyse comparée des démarches et essai de convergence. 30p. Technical report.

Gleyze, J. F. (2005). *La vulnérabilité structurelle des réseaux de transport dans un contexte de risque. 848p.* PhD thesis.

Gobin, C. (2003). Analyse fonctionnelle et construction. *Techniques de l'Ingénieur*, c3052 :17p.

Gourdon, J.-L. (1999). Rue/voie spécialisée : formes urbaines en opposition. In *Espaces et sociétés : infrastructures et formes urbaines, tome II architecture des réseaux.*, volume vol.96, pages 51–66.

Grillet-Aubert, A. and Guth, S. (2003). *Transport et architecture du territoire. Recherche : état des lieux et perspéctives. 159p.* Recherches edition.

Guillerme, A. (2010). La ville et l'eau, dix siècles de relations mouvantes. 1p.

Habrias, H. (1990). La méthode NIAM et son symbolisme. *Le Bulletin de l'EPI*, 57 :pages 219–229.

Handy, S. (2002). Amenity and severance. In Hensher, D. and Button, K., editors, *Handbook of transport and the environment.*, page 28. Oxford : El edition.

Héran, F. (2009). Des distances à vol d'oiseau aux distances réelles ou de l'origine des détours (1). *Flux*, pages 110–121.

Héran, F. (2011a). *La ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain. 217p.* Economica edition.

Héran, F. (2011b). Le paradoxe du lien qui coupe - Grandes infrastructures de transport, effets de coupure et accessibilité urbaine. page 30, Montréal.

Hernandez, F. (2015). Cadrage théorique. In *Ville et autoroute : vers une réconciliation ? enfouir, recycler, métamorphoser...*, pages pp.8–10.

Hine, J. and Russell, J. (1993). Traffic barriers and pedestrian crossing behaviour. *Journal of Transport Geography*, Vol.1 :230–239.

Ider, O. (2001). Les Olympiades, quelles perpéctives ? 18p. Technical report, APUR.

Idt, J. and Leheis, S. (2015). CANOPEE. Rapport final de la Tâche 3 : Analyse organisationnelle du pilotage des projets. 59p. Technical report.

INSEE (2015). Dictionnaire de définitions de l'INSEE. Technical report, Institut national de la statistique et des études économiques.

Jansem, B. (2015). Strasbourg - L'histoire d'un contournement. In *Ville et autoroute : vers une réconciliation ? enfouir, recycler, métamorphoser...*, pages 17–18.

Koubar, S. (2015). Evaluation du bruit en milieu urbain : le cas des infrastructures de transports. La lutte contre les nuisances sonores émises par le périphérique parisien. 30p. Technical report, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée, département Génie Urbain.

Krob, D. (2010). Eléments d'architecture des systèmes complexes. page 19p.

Laaribi, A. (2000). *SIG et analyse multicritère. 190p.* Hermes sci edition.

Labbé, M. (2003). L'espace souterrain - Dimension architecturale de la constructuion en sous-sol. *Tunnels et ouvrages souterrains*, 177 :pages196–200.

Labbé, M. (2009). L'espace souterrain, élément d'équilibre de la densification urbaine. *Géosciences*, Vol.10 :8p.

Laffréchine, K., Fund-Maurin, M., Morand, D., and Allaire, D. (2015). CANOPEE. Rapport final de la Tâche 4 : Mise au point d'outils de diagnostic et d'évaluation. 65p. Technical report.

Lambert, J. and Philips-Bertin, C. (2009). *Les nuisances environnementales des transports : résultats d'une enquête nationale. Rapport INRETS n°278. 126p.* Lavoisier edition.

Laval, P. (2014). Coupures urbaines - Raccomoder la ville. *Ville, Rail et Transports*, pages pp.26–28.

Le Corbusier (1933). *La Charte d'Athènes. 191p.* de minuit edition.

Le Moigne, J.-L. (1969). *La théorie du système général. 258p.*, volume Vol.54.

Le Moigne, J.-L. (1999). *La modélisation des systèmes complexes. 178p.* Dunod edition.

Le Monde (2015). Ségolène Royal favorable à une baisse de la vitesse sur certaines autoroutes. 1p.

Lecroart, P. (2013a). La ville après l'autoroute : études de cas New York, West Side Highway. 37p. Technical report, IAU - Ile de France.

Lecroart, P. (2013b). La ville après l'autoroute : études de cas San Francisco, Embarcadero Freeway. 29p. Technical report, IAU - Ile de France.

Lecroart, P. (2013c). La ville après l'autoroute : études de cas Séoul, Cheonggyecheon Expressway. 45p. Technical report, IAU - Ile de France.

Lecroart, P. (2013d). La ville après l'autoroute : études de cas Vancouver, Viaducs Dunsmuir & Georgia. 27p. Technical report, IAU - Ile de France.

Lecroart, P. (2014). La ville après l'autoroute : études de cas Portland, Harbor Drive. 52p. Technical report, IAU - Ile de France.

Lecureuil, J. (2001). *La Programmation urbaine. Nécessité et Enjeux. Méthodes et applications. 186p.* Le moniteu edition.

Leheis, S. G. (2011). *La ville et sa rocade. Un projet d'infrastructure au risque du temps long, le cas de Marseille. 462p.* PhD thesis, Ecole des Ponts ParisTech.

Levy, A. (1999). Infrastructure viaire et forme urbaine. In *Espaces et sociétés : infrastructures et formes urbaines, tome II architecture des réseaux.*, volume Vol.96, pages 31–50.

Loyrette, H. (2003). Paris et les chemins de fer au 19ème siècle - introduction. In *Paris et ses Chemins de Fer*.

Marie, J. (2015). Les méthodes d'évaluation de la pollution de l'air en milieu urbain. L'échangeur de Bagnolet en lien avec le phénomène de pollution de l'air. 35p. Technical report, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée, département Génie Urbain.

Merlin, P. and Choay, F. (2010). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. pages 670-671.* Puf edition.

Miet, D. and Christory, J.-P. (2011). Les chantiers au coeur du processus de fabrication de la ville. *Revue Générale des Routes - RGRA*, 897 :pages 28–31.

Moine, A. (2005). Le territoire comme un système complexe Des outils pour l'aménagement et la géographie. In *Septièmes Rencontres de Théo Quant*, page 11.

Moine, A. (2006). Le territoire comme un système complexe : Un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *Espace Geographique*, 35 :pp.115–122.

Monjal, F. and Hucault, M. (2014). Sous les pavés, des programmes ? In *Penser la ville et agir par le souterrain*, pages pp.67–77. Presses de edition.

Morand, D. (1994). *Liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments : PROJECTOR, un prototype pour la planification. 227p.* PhD thesis, Université de Savoie.

Morel, J. (2012). *Caractérisation physique et perceptive du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multiexposition en présence de bruit industriel. 311p.* PhD thesis, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

Moussard, M., Mérand, P., and Apperé, F. (2015). Le projet CANOPEE sur la programmation, la conception et la réalisation de couvertures d'infrastructures de transport en milieu urbain. In *AFGC - thème : Architecture et intégration paysagère et urbaine*, page 30.

Narbonne, Y. (2005). *Complexité et systémique. 173p.* Lavoisier edition.

NGuyen, A. (2012). Différentes approches de l'impact de l'effet de coupure sur les déplacements motorisés - Mémoire de master. 32p. Technical report, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée.

Noguellou, R. and Preud'homme, L. (2015). CANOPEE. Rapport final de la Tâche 2 : Analyse et évaluation des enjeux et des montages juridiques pour ces opérations. Technical report.

Offner, J.-M. (1993). Les effets structurants du transport. *L'espace géographique*, Vol.3 :pages 233–242.

Peyras, L. (2002). *Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages. Développement de méthodes d'aide à l'expertise. 213p.* PhD thesis, Université Aix-Marseille II.

Picon-Lefebvre, V. (1993). Comment est né le rêve des dalles ? *Urbanisme*, Vol.266 :pages 41–42.

Prélorenzo, C. (2007). *Le temps des infrastructures. 157p.* L'harmatta edition.

Pumain, D. (1982). Chemin de fer et croissance urbaine en France au XIXe siècle. *Annales de géographie*, 507 :pages 529–550.

Ramos, F. (2003). *Modélisation et validation d'un système d'information géographique 3D opérationnel. 175p.* PhD thesis, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée.

Reigner, H., Hernandez, F., and Brenac, T. (2009). Circuler dans la ville sûre et durable : des politiques publiques contemporaines ambiguës, consensuelles et insoutenables. *Varia*, Vol.5 :37p.

Roy, B. and Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas. 696p.*

Ruas, A. (2004). Le changement de niveau de détail dans la représentation de l'information géographique. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Spécialité Sciences de l'information géographique. 99p. Technical report.

Sadaoui, A. (2013). Analyse fonctionnelle : Méthode APTE. Comment répondre au besoin en conciliant la notion de moindre coût et de qualité ? - Mémoire de Master. 35p. Technical report, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée.

Sander, A. (2000). Point, ligne, territoire : quel ancrage pour les voies rapides ? In *Infrastructures, villes et territoires.*, pages pp.169–176. L'harmatta edition.

SCAV (2015). L'AV en détail. Page internet : http ://www.scav-csva.org/functionanalysis.php ?lang=fr.

Secchi, B. (2005). La ville et les infrastructures de la mobilité : un conflit. In *Déplacements, Architecture du transport : territoires en mutation*, pages 245–256. Recherche edition.

Secchi, B. and Vigano, P. (2009). La ville poreuse. Page internet : www.plainecommune.fr.

SEMAVIP (2010). La nouvelle porte des Lilas - un aménagement réalisé par la SEMAVIP. 41p. Technical report, SEMAVIP.

SEMAVIP (2014). Entrepôt MacDonald. Dossier de Presse. 48p. Technical report.

Serafin, A. (2015). Déterminer et exploiter des indicateurs urbains. 20p. Technical report, Université Paris-Est-Marne-la-Vallée, départment Génie Urbain.

Simondon, G., Hart, J., and Deforge, Y. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques. Vol.46. 597p.*

Tassinari, R. (2003). *Pratique de l'analyse fonctionnelle. 176p.* Dunod - 3è edition.

Texier, S. (2003). Des chemins de fer pour la métropole. In *Paris et ses Chemins de Fer*, pages pp.182–191. Action art edition.

Trevelo, A. and Viger-Kohler, A. (2008). *NO LIMIT Etude prospective d'insertion urbaine du périphérique de Paris. 328p.* Pavillon d edition.

UrbanAct (2012a). Etude de programmation. Maitrise d'oeuvre pour la mise en oeuvre de l'opération Paul Bourget. 86p. Technical report.

UrbanAct (2012b). Etude des conditions de faisabilité du programme. Maitrise d'oeuvre urbaine pour la mise oeuvre de l'opération Paul Bourget. 122p. Technical report.

Van Bilsen, A. and Poelman, R. (2009). 3D visibility analysis in virtual worlds : the case of supervisor. In *9th International conference on construction application of virtual reality*, page 13.

Vayssiere, B. (1993). De "Metropolis" aux Halles, l'histoire des dalles. *Urbanisme*, Vol.266 :pages 39–40.

VTPI (2012). Transportation Cost and Benefit Analysis II – Barrier Effect. 11p. Technical report, Victoria Transport Policy Institute.

Vuillet, M. (2012). *Élaboration d'un modèle d'aide à la décision probabiliste pour l'évaluation de la performance des digues fluviales*. PhD thesis, Paris Est.

Werquin, A. C. and Demangeon, A. (1998). La Parkway. L'ambition des promenades urbaines tracées à l'infini. In *Boulevards, Rondas, Parkway... des concepts de voies urbaines.*, pages pp.117–158.

Werquin, A. C. and Demangeon, A. (2004). Exemple. Contournement de Genève. Suisse. 100p. Technical report, CERTU.

Wilde, S. D. (2006). *Rail estate, multiple use of space and railway infrastructure. 276p.* S.w. rawcl edition.

Yvin, B. (2015). Définition de la programmation urbaine et principes méthodologiques. 17p. Technical report.

Zembri, P. (2003). Génèse du RER. In *Paris et ses Chemins de Fer*, pages .223–234. Action art edition.

ANNEXES

ANNEXE A

Présentation du projet CANOPEE

CANOPEE est un projet de l'Agence National de la Recherche (ANR) [1] qui s'inscrit dans le programme Bâtiments et Villes Durable (BVD) 2011. Il a débuté le 1er janvier 2012 pour une durée de 36 mois, puis prolongé jusqu'au 31 octobre 2015. Ce projet de recherche a été piloté et coordonner par le bureau d'étude ARCADIS.

Le projet a pour objectif de proposer des méthodes et outils pour optimiser la programmation ; la conception, la réalisation et l'exploitation des couvertures d'infrastructures de transports (routiers et ferroviaires) en milieu urbain. Ces couvertures répondent à de multiples enjeux et objectifs : environnementaux et sociaux, juridiques, financiers, de sécurité et de confort des usagers. Elles ne font pour autant pas l'objet d'une vision globale. Par ailleurs, ces opérations complexes ne sont pas sujettes à des réglementations appropriées et spécifiques. Le projet CANOPEE propose de mener un travail de recherche sur ces problématiques en réunissant une équipe pluridisciplinaire composée de partenaires académiques (Université Paris-Est-Marne-la-Vallée, Université Paris-Est-Créteil), de la Ville de Paris, d'écoles (École des Ingénieurs de la Ville de Paris, TECOMAH), de constructeurs et de sociétés d'ingénierie (ARCADIS, EGIS, CETU).

Le projet CANOPEE, s'articule en cinq grandes tâches interconnectées plus une tâche assignée au pilotage du projet :

- Tâche 1 : Recherche et compilation des études et projets antérieurs – analyse et synthèse de la documentation réunie.
- Tâche 2 : Analyse et évaluation des enjeux et des montages juridiques pour ces opérations
- Tâche 3 : Analyse organisationnelle du pilotage des projets
- Tâche 4 : Mise au point d'outils de diagnostic et d'évaluation
- Tâche 5 : Identification et évaluation de pistes d'innovations technologiques

1. La fiche descriptive de la soumission du projet est disponible sur le site de l'ANR : http ://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/editions-2013-et-anterieures/energie-durable/villes-et-batiments-durables/fiche-projet-bvd-2011/

– Tâche 6 : Pilotage, coordination

La première tâche a permis d'établir un état de l'art et une base données permettant d'alimenter les quatre autres. Par ailleurs, les travaux menés dans les tâches 2, 3, 4 et 5 ont fait l'objet de discussions régulières et de validations internes.

Le Génie Urbain dans CANOPEE

Le département Génie Urbain de l'université de Paris-Est-Marne-la-Vallée constitue l'un des partenaires du projet CANOPEE et a eu la responsabilité de deux tâches du projet :

– La tâche 3 : Analyse des jeux d'acteurs
– La tâche 4 : Mise au point d'outils de diagnostique et d'évaluation

La tâche 3 consiste, comme son intitulé l'indique, à l'étude des jeux d'acteurs qui mettent en place dans le cadre d'opérations de couverture. L'objectif « est de mettre en lumière la façon dont les acteurs s'organisent pour ces projets, et de repérer les principales difficultés en termes de coordination dans l'action collective. » [Idt and Leheis, 2015]. Ce travail s'est appuyé sur cinq études de cas : Euromed 1 et 2 à Marseille, Paris Rive Gauche, la couverture des Sévines à Gennevilliers, le RER de Bruxelles et enfin la Komibilosung à Karlsruhe.

> « Nous mettrons en évidence certains problèmes de pilotage spécifiques aux projets de couverture, en cherchant à comprendre comment les décisions ont été prises sur des projets déjà réalisés. Il ne s'agit donc pas de définir une organisation idéale, donnant les clés d'une coordination réussie entre les acteurs ; il est important en effet de rappeler d'emblée qu'il n'existe pas d'organisation «idéale» d'un projet de couverture. En revanche, notre analyse peut être utile pour l'action car elle apporte un éclairage rétrospectif et réflexif, basé sur l'analyse d'une large palette de projets, sur les problèmes et les difficultés de coordination, ce qui permet aux acteurs de repérer des points de vigilance pour la mise en œuvre de tels projets. En cela, elle apporte un éclairage pour les tâches 4 et 5. » [Idt and Leheis, 2015]

La tâche 4 a pour objectif d'élaborer des méthodes et outils de diagnostic et d'évaluation des couvertures d'infrastructures routières et ferroviaires en milieu urbain. Le travail mené dans le cadre de cette tâche correspond au travail de thèse exposé dans ce mémoire. Ce travail avait notamment pour but de palier le manque de vision globale et de transversalité et de proposer une approche permettant d'appréhender la complexité pressentie dans les opérations de couverture. La méthode proposée s'appuie donc sur l'emploi de la systémique à travers l'application de l'analyse fonctionnelle [Laffréchine et al., 2015].

> « Afin de proposer aux divers acteurs impliqués des méthodes et des outils de diagnostic, d'évaluation et d'aide à la décision, un travail de modélisation des couvertures est engagé. Le modèle est pensé comme un schéma qui, dans un contexte particulier, est pris comme une représentation de fonctionnalités, pour servir de support à l'investigation et à la communication. Investigation à partir de laquelle les fonctionnalités sont inventoriées, qualifiés, individuellement puis de façon interactive, structurées, ... »
>
> [Laffréchine et al., 2015]

Bilan du projet et livrables

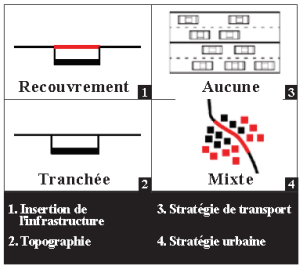
Le projet CANOPEE s'est achevé le 31 octobre 2015 et a donné lieu à des livrables conçus sous la forme de douze cahiers explicatifs, d'un tableau relatifs aux structures lourdes, d'un catalogue des projets de couvertures et d'une base de données. Ces derniers sont librement accessibles et consultables sur le site de l'IREX[2]. Il a été fait le choix de rendre totalement visibles les résultats de ce travail de recherche de manière à permettre aux futurs acteurs de ce type d'opération de disposer d'une documentation spécifiques aux couvertures d'infrastructures, de se référer à des retours d'expérience, d'accéder à des outils d'analyse appropriés, et enfin de consulter des pistes d'innovation.

Sur le plan de la recherche, des échanges ont pu avoir lieu avec le programme de recherche en cours « Ville 10D – Ville d'idées », porté par l'AFTES et l'IREX. Les problématiques connexes telle que la réflexion « dessus/dessous » permettent de mettre en perspectives les recherches et les résultats du projet CANOPEE.

2. http ://www.irex.asso.fr/rapport-final-canopee/

ANNEXE B

Extrait du catalogue de couvertures



Noisy-Le-Grand Mont d'Est

Couverture du RER A - Paris, Ile de France

Gare routière posée sur une dalle de couverture au-dessus des voies du RER A. La couverture se fait en prolongement d'un quartier aménagé sur dalle du début des années 1970 (Noisy-le-Grand Mont d'Est). Elle accueille une nouvelle gare routière extérieure, plus grande et plus agréable pour les usagers que la précédente, établie sous la dalle de Mont d'Est. Elle s'accompagne également d'une passerelle pour traverser les voies et d'une extension du parc existant au nord des voies.

En **2004**, suite à la réalisation d'une enquête publique, la **RATP** monte un projet de couverture des voies à l'entrée d'une dalle de logements existante, afin d'y construire une gare routière plus importante que l'actuelle. Le projet voit officiellement le jour en **2005**, avec l'approbation de l'avant-projet par le **Conseil du STIF**. Les travaux débutent au premier semestre **2011**, et la couverture des voies est livré quelques mois plus tard. Le projet est réalisé pour la **RATP** qui en l'unique initiateur et propriétaire. L'infrastructure traversant des zones pavillonaires ainsi que des quartiers de la ville nouvelle, elle permet de réduire la fracture urbaine créée par la présence des voies d'une part, d'autre part de pallier aux nuisances sonores pour les riverains.

En outre, la couverture permet l'implantation d'une gare routière en lien direct avec les voies passant au dessous.

Plan d'implantation de la couverture. Echelle : 1/5 000.

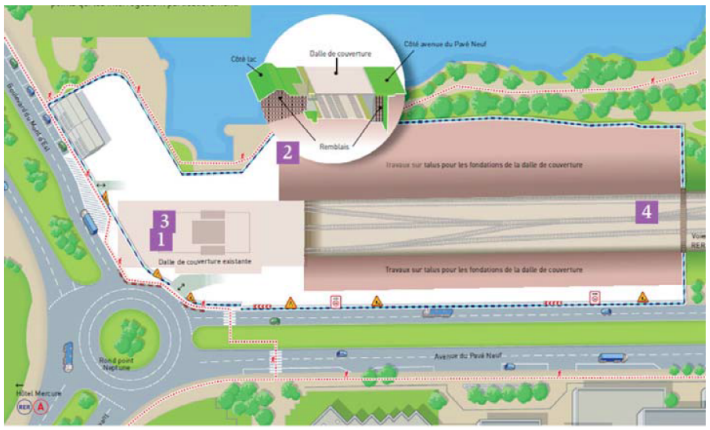
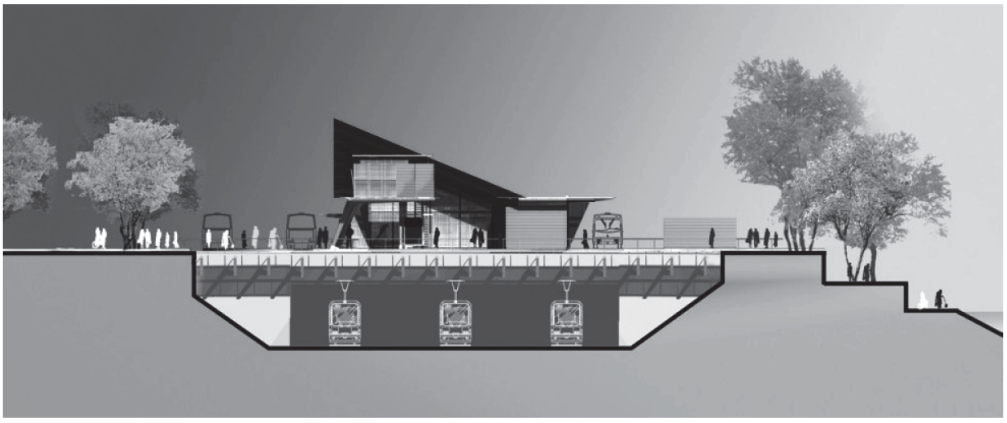


Schéma de mise en oeuvre de la couverture.

FIG. B.1 – *Page 1 de la fiche de la couverture de Noisy le Grand*



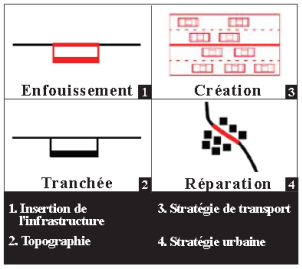
Coupe du projet de la gare routière, développé par l'agence d'architecture-ingénieurie de Marc Mimram.

La gare routière est entourée de grillages qui limitent la connexion entre les deux rives de l'infrastructure. Le passage facilité entre les logement au Sud et l'extention du parc au nord des voies est permis par une passerelle à l'extrémité Est de la dalle.

La couverture du RER A permet de déplacer en surface l'ancienne gare routière qui se situait sous la dalle de Noisy le Grand Mont d'Est.

Sources : Google map ; *Infos riverains* : la lettre de la nouvelle Gare de Noisy-Le-Grand (2009) ; site internet de l'agence Marc Mimram ; EIVP.

FIG. B.2 – *Page 2 de la fiche de la couverture de Noisy le Grand*

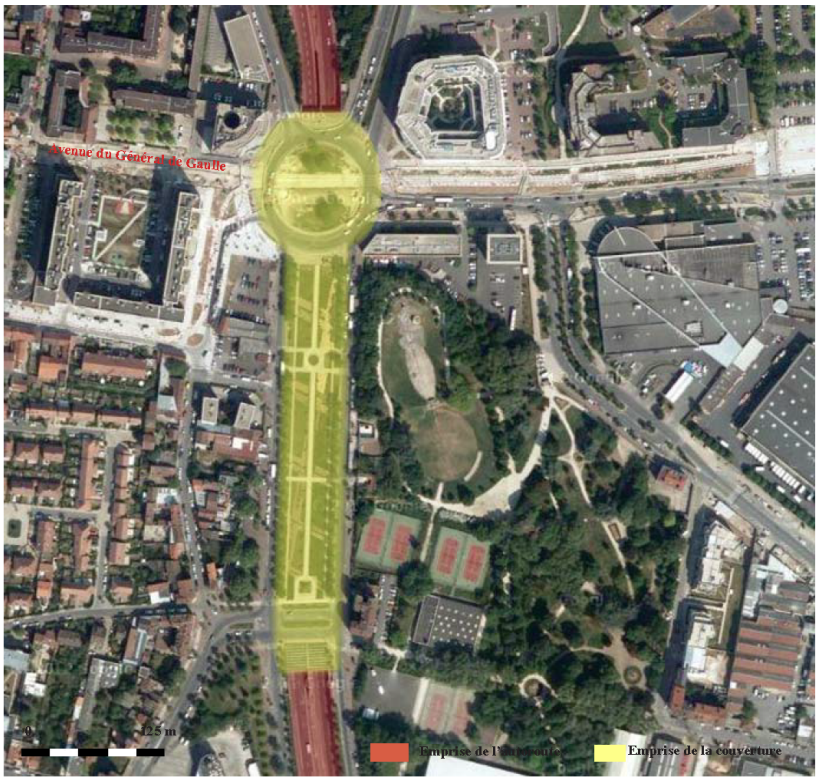


N315 Gennevilliers

Construction d'un tunnel routier - Paris, France

Tranchée couverte par un parc linéaire, en vue d'un prolongement de l'A15 traversant la commune de Genevilliers. La couverture est positionnée dans l'interaction de l'infrastructure avec des logements. Elle créé un parc linéaire juste à côté d'un grand parc existant.

La DDE des Hautes Seines a fait appel à **Setec TPI** pour l'assister tout au long de la réalisation du boulevard urbain de Gennevilliers, entre **1993** et **1996**. Cette opération d'une longueur de 3km environ, a pour objectif de soulager la voirie locale du trafic de transit en provenance des autoroutes A15 et A86.



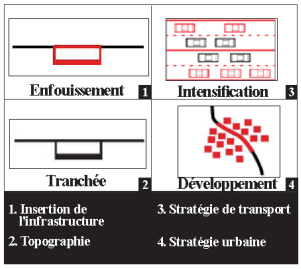
Implantation du projet de couverture. Echelle : 1/5000

Vue sur le parc linéaire,qui avec le boulevard appartient à la zone tampon entre l'agglomération et le grand parc de Sévines.

Vue globale sur la couverture

Sources : Google map.

FIG. B.3 – *Page 1 de la fiche de la couverture de Gennevilliers*



ZUIDAS

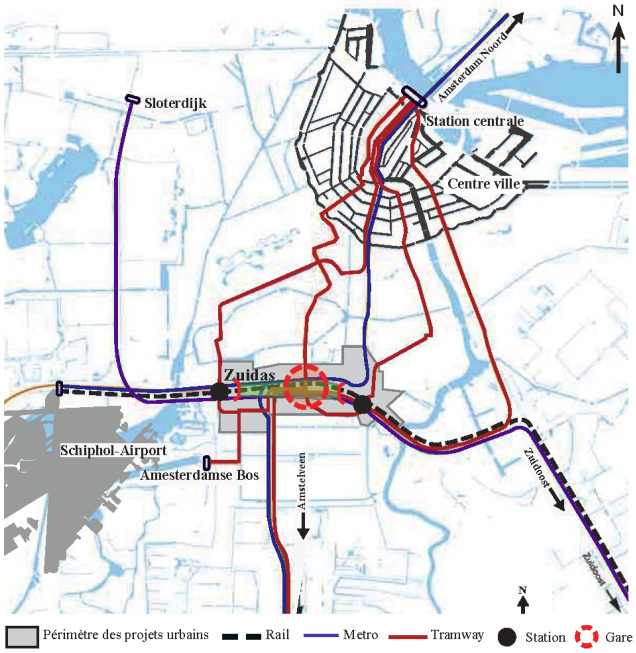
Enfouissement de l'Autoroute 10 - Amsterdam, Hollande

A l'initiative d'un projet urbain dans une zone proche du centre de la ville, l'opération qui devait être réalisée en priorité est finalement décomposée pour être réalisée en plusieurs fois. D'abord l'autoroute puis le faisceau ferré. En attendant l'enfouissement de l'autoroute, la zone reste peu propice à la construction de logements.

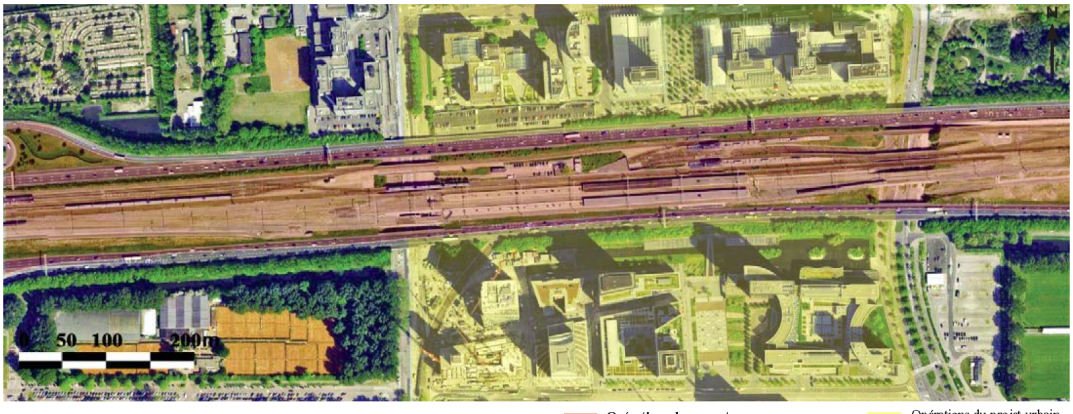
A l'origine, au début des années 1990, le projet visait à répondre à une demande croissante d'immobilier de bureau dans un zone proche du centre. Il était envisagé de bâtir un nouveau centre d'affaire sur un secteur gagné sur la mer, à proximité de la gare centrale. Le projet s'est finalement repositionné au Sud de l'agglomération, plus près de l'autoroute A10 et de l'aéroport. Il a également pris une dimension plus urbaine et le masterplan de 1998 intégrait des logements et commerces dans une proportion équilibrée avec les bureaux.

Cette option a été abandonnée en 2008, suite à la crise internationale, pour des raisons évidente de temporalité du retour sur investissement. Seuls les fonds publics restent entièrement disponibles pour permettre l'opération.

Jeu d'acteur :
Projet de renouvellement urbain:
Maîtrise d'ouvrage!: Ville d'Amsterdam, Gouvernement des Pays-Bas
Maîtrise d'oeuvre urbaine!: Ville d'Amsterdam DRO, coord. S.A. Zuidas
Projet ZuidasDok (infrastructures)!:
Société Zuidasdok NV coord., B.E. ARUP
Mise en service de la gare Zuidas!: 2006
Prévision achèvement du quartier!: 2035



Plan des opérations des réseaux du transport public



Localisation des opérations

Source : "Zuidas Vision Document" par le conseil de la ville de Amsterdam 9 Septembre 2009

FIG. B.4 – *Page 1 de la fiche de la couverture de Zuidas*

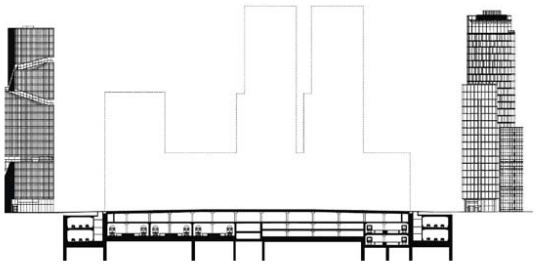
1970

2007

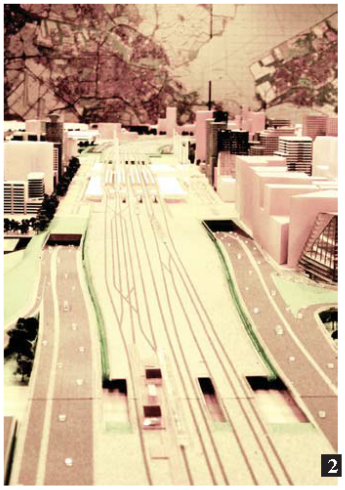
Aujourd'hui, les opérations immobilières ont été lancées et l'enfouissement de l'autoroute devrait être financé à horizon 2025 - 2027, la couvertures des voies ferrées est toujours en projet mais dans le cadre d'opérations qui seront lancées ultérieurement.

1. Coupe indicative du projet initial

2. Maquette du projet actuel



1



2

Vue sur les voies à couvrir

La construction des logements est clairement pénalisée par le choix d'échelonner l'enfouissement des infrastructures car l'ambiance urbaine reste fortement marquée par les nuisances dues à l'autoroute.

A ce jour, le quartier se présente comme un centre d'affaire alors que le programme initial incluait autant de logement que de bureaux.

75

FIG. B.5 – *Page 2 de la fiche de la couverture de Zuidas*

ANNEXE C

Liste des fonctions internes de la couverture

TAB. C.1 – *Fonctions internes de l'ouvrage de couverture d'après l'étude de Pierre Mérand*

FONCTIONS	SOUS-FONCTIONS
Assurer la stabilité de la structure dans son usage normal et lors d'événement exceptionnels	• Reprendre les charges d'exploitation du dessus • Retenir les terres adjacentes • Assurer la stabilité au feu en cas d'incendie
Assurer le confort des usagers de l'espace souterrain	• Eclairage • Ventilation sanitaire
Assurer la sécurité des usagers en milieu confiné	• Prévenir les accidents (assurer un confort de conduite avec une géométrie adaptée et l'éclairage) • Mettre en œuvre des mesures de sauvegarde des usagers en cas d'incidents : surveiller, détecter, alerter, agir • Permettre l'auto-évacuation des usagers (issues de secours, gestion des fumées) stabilité au feu • Permettre l'intervention de secours (accès, moyens d'intervention)
Assurer les approvisionnements / évacuations des fluides	• Assurer la distribution / évacuation locales des fluides nécessaires aux équipements de la couverture et de ses aménagements en-dessous et au-dessus : eaux (propres, usées, pluviales), gaz, électricité, télécommunication
Permettre la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité du système « couverture » (structure (milieu) + infrastructure (dessous) + aménagements (dessus))	• Fiabilité (aptitude à fonctionner pendant un intervalle de temps) • Maintenabilité (aptitude à être maintenu ou remis en état de fonctionnement) • Disponibilité (aptitude à être en état de marche à un instant donné) • Sécurité (aptitude à ne pas conduire à des accidents inacceptables)
Anticiper les futures évolutions de l'ensemble des fonctions externes (pérennité liée à la flexibilité d'utilisation)	• Evolution des besoins relatifs à l'ensemble des fonctions externes : - La lutte contre les nuisances pour les riverains de l'infra - Aux voies de communication - Aux espaces et équipements publics et privés - Aux usages, aux exigences/contraintes de sécurité et d'exploitation - A la production de ressources - Aux pièges à carbone (effet global) et régulation du climat urbain (effet local)
Réduire et compenser les impacts négatifs de la couverture au cours de son cycle de vie (impacts définitifs)	• Impacts environnementaux : - Impacts initiaux : destruction de biodiversité, de surfaces végétalisées - Impacts exploitation : consommation d'énergie • Impacts sociaux : - Impacts initiaux : expropriation, déplacement de SDF - Impacts exploitation : risques liés à la sécurité des usagers en milieu confiné • Impacts économiques : - Impacts initiaux : voir § coûts d'investissement - Impacts exploitation : coûts d'entretien

TAB. C.2 – *Fonctions relatives à la construction et la déconstruction des ouvrages de couvertures d'après l'étude de Pierre Mérand*

FONCTIONS SPECIFIQUES RELATIVES A LA CONSTRUCTION ET A LA DECONSTRUCTION DE LA COUVERTURE	
FONCTIONS	**SOUS-FONCTIONS**
Optimiser les coûts d'investissement et d'exploitation sur la durée du cycle de vie	• **Limiter les coûts d'investissement sans reporter des charges anormales sur l'exploitation**
Optimiser les délais de réalisation (responsable de déconstruction)	• **Trouver le planning optimal de réalisation en fonction :** - des contraintes techniques - des contraintes économiques - des contraintes sociales (dont le maintien de la sécurité et de l'exploitation des voies de communication concernées)
Maintenir l'exploitation de l'infrastructure pendant la réalisation de la couverture (responsable de déconstruction)	• **Maintenir le trafic de l'infrastructure pendant la construction, dans des conditions de sécurité adéquates**
Réduire et compenser les impacts négatifs des chantiers de construction et de déconstruction (impacts provisoires)	• **Impacts environnementaux :** - Gêne aux riverains (bruit, pollution atmosphérique / odeur, circulation d'engins, points noirs visuels) - Réduire la consommation de matières premières - Réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES • **Impacts sociaux :** - Gêne à la circulation (augmentation des temps de déplacement) • **Impact économiques :** - Perte d'exploitation des commerces voisins

ANNEXE D

Liste des fonctions de la couverture dans son système urbain

TAB. D.1 – *Tableau de fonctions*

Id_Groupe	Id_Fonction mère	Id_Fonction_fille	Intitulé de fonctions	Composant 1	Composant 2
G1	Créer une proximité entre les différents espaces				
	FP01		Créer une proximité entre espace mobile et espace habité / Assurer l'accessibilité de l'espace habité pour les populations	Espace Mobile	Espace Habité
		FP01-1	Créer une proximité entre réseau automobile et environnement habité	Réseau Automobile	Espace Habité
		FP01-2	Créer une proximité entre réseau cycliste et environnement habité	Réseau Cycliste	Espace Habité
		FP01-3	Créer une proximité entre réseau piéton et environnement habité	Réseau Piéton	Espace Habité
		FP01-4	Créer une proximité entre réseau TC et environnement habité	Réseau TC	Espace Habité
	FP03		Créer une proximité entre espace mobile et espace actif / Assurer l'accessibilité de l'espace actif pour les populations	Espace Mobile	Espace Actif
		FP03-1	Créer une proximité entre réseau automobile et environnement actif	Réseau Automobile	Espace Actif
		FP03-2	Créer une proximité entre réseau cycliste et environnement actif	Réseau Cycliste	Espace Actif
		FP03-3	Créer une proximité entre réseau piéton et environnement actif	Réseau Piéton	Espace Actif
		FP03-4	Créer une proximité entre réseau TC et environnement actif	Réseau TC	Espace Actif
	FP05		Créer une proximité entre espace mobile et espace équipé / Assurer l'accessibilité de l'espace équipé pour les populations	Espace Mobile	Espace Equipé
		FP05-1	Créer une proximité entre réseau automobile et environnement équipé	Réseau Automobile	Espace Equipé
		FP05-2	Créer une proximité entre réseau cycliste et environnement équipé	Réseau Cycliste	Espace Equipé
		FP05-3	Créer une proximité entre réseau piéton et environnement équipé	Réseau Piéton	Espace Equipé
		FP05-4	Créer une proximité entre réseau TC et environnement équipé	Réseau TC	Espace Equipé
		FP05-5	Créer une proximité entre réseau cycliste et réseau d'électricité	Réseau Cycliste	Réseau d'électricité
		FP05-6	Créer une proximité entre réseau piéton et réseau d'électricité	Réseau Piéton	Réseau d'électricité
		FP05-7	Créer une proximité entre réseau TC et réseau d'électricité	Réseau TC	Réseau d'électricité
		FP05-8	Créer une proximité entre réseau automobile et réseau d'électricité	Réseau Automobile	Réseau d'électricité
		FP05-9	Créer une proximité entre réseau cycliste et réseau de déchets	Réseau Cycliste	Réseau de déchets
		FP05-10	Créer une proximité entre réseau piéton et réseau de déchets	Réseau Piéton	Réseau de déchets
		FP05-11	Créer une proximité entre réseau TC et réseau de déchets	Réseau TC	Réseau de déchets
		FP05-12	Créer une proximité entre réseau automobile et réseau déchets	Réseau Automobile	Réseau de déchets
		FP05-13	Créer une proximité entre réseau cycliste et réseau d'eau	Réseau Cycliste	Réseau d'eau
		FP05-14	Créer une proximité entre réseau piéton et réseau eau	Réseau Piéton	Réseau d'eau
		FP05-15	Créer une proximité entre réseau TC et réseau d'eau	Réseau TC	Réseau d'eau
		FP05-16	Créer une proximité entre réseau automobile et réseau d'eau	Réseau Automobile	Réseau d'eau
		FP05-17	Créer une proximité entre réseau cycliste et réseau d'assainissement	Réseau Cycliste	Réseau d'assainissement
		FP05-18	Créer une proximité entre réseau piéton et réseau d'assainissement	Réseau Piéton	Réseau d'assainissement
		FP05-19	Créer une proximité entre réseau TC et réseau d'assainissement	Réseau TC	Réseau d'assainissement
		FP05-20	Créer une proximité entre réseau automobile et réseau d'assainissement	Réseau Automobile	Réseau d'assainissement

FP06	Créer une proximité entre espace mobile et espace mobile		Espace Mobile	Espace Mobile
	FP06-1	Créer une proximité entre réseau piéton et d'autres réseaux	Réseau Piéton	Connexion multimodale
	FP06-2	Créer une proximité entre réseau automobile et d'autres réseaux	Réseau Automobile	Connexion multimodale
	FP06-3	Créer une proximité entre réseau TC et d'autres réseaux	Réseau TC	Connexion multimodale
	FP06-4	Créer une proximité entre réseau cycliste et d'autres réseaux	Réseau Cycliste	Connexion multimodale
	FC01	Assurer la continuité du réseau de transport en commun	Réseau de TC	
	FC02	Assurer la continuité du réseau piéton	Réseau Piéton	
	FC03	Assurer la continuité du réseau cycliste	Réseau Cycliste	
	FC04	Assurer la continuité du réseau automobile	Réseau Automobile	
	FC05	Assurer la continuité du réseau d'énergie	Réseau d'Energie	
	FC06	Assurer la continuité du réseau de télécommunication	Réseau de Télécommunication	
	FC07	Assurer la continuité du réseau de gaz	Réseau de gaz	
	FC08	Assurer la continuité du réseau d'eau	Réseau d'eau	
	FC09	Assurer la continuité du réseau de déchets	Réseau de déchets	
	FC10	Assurer la continuité du réseau d'assainissement	Réseau d'assainissement	
	FC11	Assurer la continuité du réseau des autres réseaux	Autres réseaux	
FP08	Créer une proximité entre espace habité et espace équipé		Espace Habité	Espace Equipé
	FP08-1	Créer une proximité entre espace habité et commerce	Espace Habité	Commerce
	FP08-2	Créer une proximité entre espace habité et équipements de sports, loisirs et culture	Espace Habité	Equipement de sport, loisirs et culture
	FP08-3	Créer une proximité entre espace habité et équipements d'enseignement	Espace Habité	Equipement d'enseignement
	FP08-4	Créer une proximité entre espace habité et équipements de santé	Espace Habité	Equipement de santé
	FP08-5	Créer une proximité entre espace habité et équipements de service aux particuliers	Espace Habité	Equipement de services aux particulier
	FP08-6	Créer une proximité entre espace habité et réseau d'énergie / Connecter l'espace habité au réseau d'énergie	Espace Habité	Réseau d'énergie
	FP08-7	Créer une proximité entre espace habité et réseau d'assainissement / Connecter l'espace habité au réseau d'énergie	Espace Habité	Réseau d'assainissement
	FP08-8	Créer une proximité entre espace habité et réseau de déchets / Connecter l'espace habité au réseau de déchets	Espace Habité	Réseau de déchets
	FP08-9	Créer une proximité entre espace habité et réseau d'eau / Connecter l'espace habité au réseau d'eau	Espace Habité	Réseau d'eau
	FP08-10	Créer une proximité entre espace habité et réseau de gaz / Connecter l'espace habité au réseau de gaz	Espace Habité	Réseau de gaz
	FP08-11	Créer une proximité entre espace habité et réseau de télécommunication / Connecter l'espace habité au réseau de télécommunication	Espace Habité	Réseau de télécommunication
	FP08-12	Créer une proximité entre espace habité et autres réseaux / Connecter l'espace habité aux autres réseaux	Espace Habité	Autres réseaux

FP09	Créer une proximité entre espace habité et espace actif		Espace Habité	Espace Actif
	FP09-1	Créer une proximité entre espace habité et locaux et espaces agricoles	Espace Habité	Locaux et espaces agricoles
	FP09-2	Créer une proximité entre espace habité et industries	Espace Habité	Industries
	FP09-3	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités de services aux particuliers	Espace Habité	Locaux d'activités de services aux particuliers
	FP09-4	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités de services aux entreprises	Espace Habité	Locaux d'activités de services aux entreprises
	FP09-5	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités "autres"	Espace Habité	L'ocaux d'autre activités tertiaires
	FP09-6	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités financières et immobilières	Espace Habité	Locaux d'activités financières et immobilières
	FP09-7	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités de transports	Espace Habité	Locaux d'activités de transports
	FP09-8	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités relatives à l'éducation	Espace Habité	Locaux d'activités relatives à l'éducation
	FP09-9	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités relatives à la santé	Espace Habité	Locaux d'activités relatives à la santé
	FP09-10	Créer une proximité entre espace habité et locaux d'activités d'actions sociales	Espace Habité	Locaux d'activités d'action sociales
FP10	Créer une proximité entre espace actif et espace équipé		Espace Actif	Espace Equipé
	FP10-1	Créer une proximité entre espace actif et réseau d'énergie	Espace Actif	Réseau d'énergie
	FP10-2	Créer une proximité entre espace actif et réseau d'assainissement	Espace Actif	Réseau d'assainissement
	FP10-3	Créer une proximité entre espace actif et réseau de déchets	Espace Actif	Réseau de déchets
	FP10-4	Créer une proximité entre espace actif et réseau d'eau	Espace Actif	Réseau d'eau
	FP10-5	Créer une proximité entre espace actif et réseau de gaz	Espace Actif	Réseau de gaz
	FP10-6	Créer une proximité entre espace actif et réseau de télécommunication	Espace Actif	Réseau de télécommunication
	FP10-7	Créer une proximité entre espace actif et les autres réseaux	Espace Actif	Autres réseaux
	FP12-11	Créer une proximité entre espace actif et commerce	Espace Actif	Commerce
	FP12-12	Créer une proximité entre espace actif et équipements de sports, loisirs et culture	Espace Actif	Equipement de sport, loisirs et culture
	FP12-13	Créer une proximité entre espace actif et équipements d'enseignement	Espace Actif	Equipement d'enseignement
	FP12-14	Créer une proximité entre espace actif et équipements de santé	Espace Actif	Equipement de santé
	FP12-15	Créer une proximité entre espace actif et équipements de service aux particuliers	Espace Actif	Equipement de services aux particulier
FP11	Créer une proximité entre espace actif at espace actif		Espace Actif	Espace Actif
	FP11-1	Créer une proximité entre services aux entreprises et environnement actif	Espace Actif	Locaux de services aux entreprises

	FP12	Créer une proximité entre espace équipé et espace équipé		Espace Equipé	Espace Equipé
		FP12-1	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau d'énergie	Equipement lourd	Réseau d'énergie
		FP12-2	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau d'assainissement	Equipement lourd	Réseau d'assainissement
		FP12-3	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau de déchets	Equipement lourd	Réseau de déchets
		FP12-4	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau d'eau	Equipement lourd	Réseau d'eau
		FP12-5	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau de gaz	Equipement lourd	Réseau de gaz
		FP12-6	Créer une proximité entre équipements lourds et réseau de télécommunication	Equipement lourd	Réseau de télécommunication
		FP12-7	Créer une proximité entre équipements lourds et les autres réseaux	Equipement lourd	Autres réseaux
		FP12-8	Créer une proximité entre espace équipé et commerce	Espace Equipé	Commerce
		FP12-9	Créer une proximité entre espace équipé et équipements de sports, loisirs et culture	Espace Equipé	Equipement de sport, loisirs et culture
		FP12-10	Créer une proximité entre espace équipé et équipements d'enseignement	Espace Equipé	Equipement d'enseignement
		FP12-11	Créer une proximité entre espace équipé et équipements de santé	Espace Equipé	Equipement de santé
		FP12-12	Créer une proximité entre espace équipé et équipements de service aux particuliers	Espace Equipé	Equipement de services aux particulier
	FP13	Créer une proximité entre espace habité et espace habité		Espace Habité	Espace Habité
G2	Protéger les espaces vis-à-vis des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport				
	FP02	Protéger l'espace habité des nuisances environnementales générées par l'infrastructure		Espace Habité	Réseau Automobile / TC
		FP02-1	Protéger l'espace habité du bruit généré par l'infrastructure	Espace Habité	Réseau Automobile / TC
		FP02-2	Protéger l'espace habité de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure	Espace Habité	Réseau Automobile / TC
		FP02-3	Protéger l'espace habité des vibrations générées par l'infrastructure	Espace Habité	Réseau Automobile / TC
		FP02-4	Protéger l'espace habité de l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure	Espace Habité	Réseau Automobile / TC
	FP04	Protéger l'espace actif des nuisances environnementales générées par l'infrastructure		Espace Actif	Réseau Automobile / TC
		FP04-1	Protéger l'espace actif du bruit généré par l'infrastructure	Espace Actif	Réseau Automobile / TC
		FP04-2	Protéger l'espace actif de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure	Espace Actif	Réseau Automobile / TC
		FP04-3	Protéger l'espace actif des vibrations générées par l'infrastructure	Espace Actif	Réseau Automobile / TC
		FP04-4	Protéger l'espace actif de l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure	Espace Actif	Réseau Automobile / TC
	FP07	Protéger l'espace mobile des nuisances environnementales générées par l'infrastructure		Espace Mobile	Réseau Automobile / TC
		FP07-1	Protéger l'espace mobile du bruit généré par l'infrastructure	Espace Mobile	Réseau Automobile / TC
		FP07-2	Protéger l'espace mobile de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure	Espace Mobile	Réseau Automobile / TC
		FP07-3	Protéger l'espace mobile des vibrations générées par l'infrastructure	Espace Mobile	Réseau Automobile / TC
		FP07-4	Protéger l'espace mobile de l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure	Espace Mobile	Réseau Automobile / TC
	FP09	Protéger l'espace équipé des nuisances environnementales générées par l'infrastructure		Esapce Equipé	Réseau Automobile / TC
		FP09-1	Protéger l'espace équipé du bruit généré par l'infrastructure	Esapce Equipé	Réseau Automobile / TC
		FP09-2	Protéger l'espaceéquipé de la pollution atmosphérique générée par l'infrastructure	Esapce Equipé	Réseau Automobile / TC
		FP09-3	Protéger l'espace équipé des vibrations générées par l'infrastructure	Esapce Equipé	Réseau Automobile / TC
		FP09-4	Protéger l'espace équipé de l'intrusion visuelle générée par l'infrastructure	Esapce Equipé	Réseau Automobile / TC

G3	Assurer le confort des populations			
	FC01	Assurer le confort des populations sur l'espace mobile		Espace Mobile
		FC01-1	Générer une qualité sonore de l'environnement mobile	Espace Mobile
		FC01-2	Assurer une stabilité mécanique sur l'environnement mobile	Espace Mobile
		FC01-3	Générer une qualité de l'air sur l'environnement mobile	Espace Mobile
		FC01-4	Générer une qualité paysagère sur l'environnement mobile	Espace Mobile
		FC01-5	Générer une "atmosphère accueillante" sur l'environnement mobile	Espace Mobile
	FC05	Assurer le confort des populations sur l'espace équipé		Esapce Equipé
		FC05-1	Générer une qualité sonore de l'environnement équipé	Esapce Equipé
		FC05-2	Assurer une stabilité mécanique sur l'environnement équipé	Esapce Equipé
		FC05-3	Générer une qualité de l'air sur l'environnement équipé	Esapce Equipé
		FC05-4	Générer une qualité paysagère sur l'environnement équipé	Esapce Equipé
		FC05-5	Générer une "atmosphère accueillante" sur l'environnement équipé	Esapce Equipé
	FC06	Assurer le confort des populations sur l'espace actif		Espace Actif
		FC06-1	Générer une qualité sonore de l'environnement actif	Espace Actif
		FC06-2	Assurer une stabilité mécanique sur l'environnement actif	Espace Actif
		FC06-3	Générer une qualité de l'air sur l'environnement actif	Espace Actif
		FC06-4	Générer une qualité paysagère sur l'environnement actif	Espace Actif
		FC06-5	Générer une "atmosphère accueillante" sur l'environnement actif	Espace Actif
	FC09	Assurer le confort des populations sur l'espace habité		Espace Habité
		FC09-1	Générer une qualité sonore de l'environnement habité	Espace Habité
		FC09-2	Assurer une stabilité mécanique sur l'environnement habité	Espace Habité
		FC09-3	Générer une qualité de l'air sur l'environnement habité	Espace Habité
		FC09-4	Générer une qualité paysagère sur l'environnement habité	Espace Habité
		FC09-5	Générer une "atmosphère accueillante" sur l'environnement habité	Espace Habité

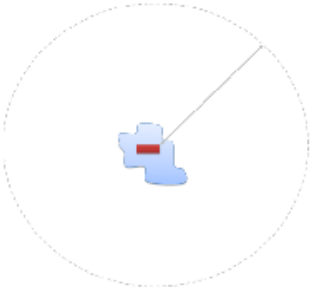
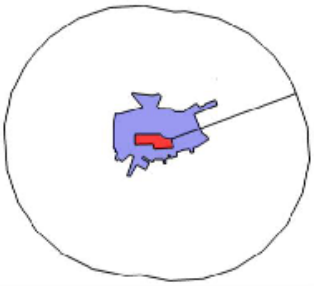
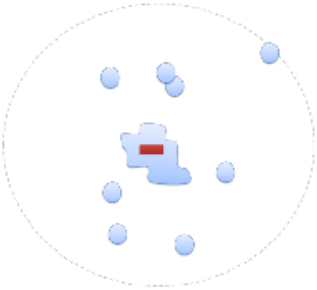
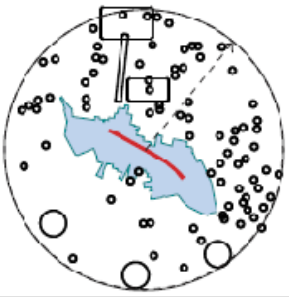
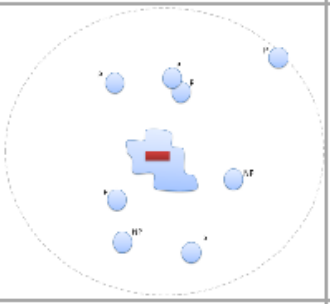
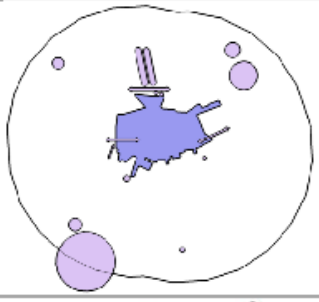
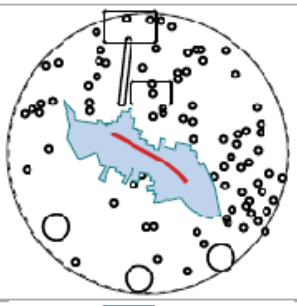
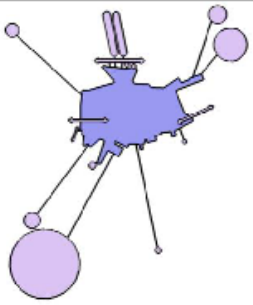
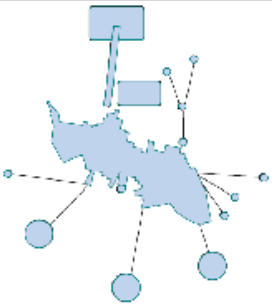
G4	Créer du foncier			
	FC02	Créer du foncier à destination de l'espace mobile	Espace Mobile	
		FC02-1	Créer du foncier à destination de réseaux piétons	Réseau Piéton
		FC02-2	Créer du foncier à destination de réseaux TC	Réseau TC
		FC02-3	Créer du foncier à destination de connexions multimodales	Connexion Multimodale
		FC02-4	Créer du foncier à destination de réseaux automobile	Réseau Automobile
		FC02-5	Créer du foncier à destination de réseaux cycliste	Réseau Cycliste
	FC04	Créer du foncier à destination de l'espace équipé	Espace équipé	
		FC04-1	Créer du foncier à destination d'équipements de services aux particuliers	Equipement de services aux particuliers
		FC04-2	Créer du foncier à destination d'équipements liés à la santé	Equipement relatifs à la santé
		FC04-3	Créer du foncier à destination d'équipements liés à l'enseignement	Equipement relatifs à l'enseignement
		FC04-4	Créer du foncier à destination d'équipements de sports, loisirs et culture	Equipement de sports, loisirs et culture
		FC04-5	Créer du foncier à destination de commerces	Commerce
		FC04-6	Créer du foncier à destination de réseaux de gaz	Réseau de gaz
		FC04-7	Créer du foncier à destination de réseaux d'assainissement	Réseau d'assainissement
		FC04-8	Créer du foncier à destination de réseaux d'énergie	Réseau d'énergie
		FC04-9	Créer du foncier à destination de réseaux de déchets	Réseau de déchets
		FC04-10	Créer du foncier à destination de réseaux de télécommunication	Réseau de télécommunication
		FC04-11	Créer du foncier à destination de réseaux d'eau	Réseau d'eau
		FC04-12	Créer du foncier à destniation d'autres réseaux	Autres réseaux
	FC07	Créer du foncier à destination de l'espace actif	Espace Actif	
		FC07-1	Créer du foncier à destination de locaux et espaces agricoles	Locaux et espaces agricoles
		FC07-2	Créer du foncier à destination d'industries	Industrie
		FC07-3	Créer du foncier à destination de locaux d'activités de services aux particuliers	Locaux d'activités de services aux particuliers
		FC07-4	Créer du foncier à destination de locaux d'activités de services aux entreprises	Locaux d'activités de services aux entreprises
		FC07-5	Créer du foncier à destination de locaux d'activités "autres"	L'ocaux d'autre activités tertiaires
		FC07-6	Créer du foncier à destination de locaux d'activités financières et immobilières	Locaux d'activités financières et immobilières
		FC07-7	Créer du foncier à destination de locaux d'activités de transports	Locaux d'activités de transports
		FC07-8	Créer du foncier à destination de locaux d'activités relatives à l'éducation	Locaux d'activités relatives à l'éducation
		FC07-9	Créer du foncier à destination de locaux d'activités relatives à la santé	Locaux d'activités relatives à la santé
		FC07-10	Créer du foncier à destination de locaux d'activités d'actions sociales	Locaux d'activités d'action sociales

FC08	Créer du foncier à destination de l'espace habité		Espace Habité	
	FC08-1	Créer du foncier à destination de logements principaux	Logement Principal	
	FC08-2	Créer du foncier à destination de logements occasionnels	Logement Occasionnel	
	FC08-3	Créer du foncier à destination de logements secondaires	Logement Secondaire	
	FC08-4	Créer du foncier à destination de logements vacants	Logement Vacant	
G5	Assurer l'efficience de l'infrastructure		Réseau Automobile	
			Réseau TC	

ANNEXE E

Application du protocole de définition du périmètre du système sur les cas de Porte d'Italie et Rubi

TAB. E.1 – *Protocole de défintion de périmètre appliqué à Porte d'Italie et Rubi*

	Méthode générique	Application sur Porte d'Italie	Application sur Rubi
ETAPE 1 : Détermination du périmètre structurel			
ETAPE 2 : Délimitation du périmètre d'usage local			
ETAPE 3 : Application du rayon d'influence			
ETAPE 4 : Identification des éléments structurants			
ETAPE 5 : Appréciation de la pertinence des éléments structurants			
ETAPE 6 : Détermination des satellites du périmètre			

ANNEXE F

Liste des acronymes et abréviations

AFAV : Agence Française de l'Analyse de la Valeur
AFNOR : Agence Française de Normalisation
ANR : Agence Nationale de la Recherche
APTE : APplication aux Techniques d'Entreprise
APUR : Atelier Parisien d'Urbanisme
BAC : Bête à Cornes
BP : Boulevard Périphérique
BVD : Bâtiments et Villes Durables
CPER : Contrat de Plan État Région
COS : Coefficient d'Occupation des Sols
EA : Espace Actif
EDF : Eléctricité de France
EE : Espace Équipé
EH : Espace Habité
EM : Espace Mobile
FAST : Functional Analysis System Technique
FC : Fonction de Contrainte
FP : Fonction Principale
GCO : Grand Contournement Ouest
GPE : Grand Paris Express
GPRU : Grand Projet de Renouvellement Urbain
IAU : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme
Id : Identifiant
INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques
MUG : Modélisation Urbaine Gerland
NIAM : Nijssen Information Analysis Method
PRG : Paris Rive Gauche
SADT : Structured Analysis Design Technique
SART : Structured Analysis for Real Time
SCAV : Société Canadienne de l'Analyse de la Valeur
SIG : Système d'Information Géographique
TC : Transport en Commun
UML : Unified Modeling Language
ZAC : Zone d'Aménagement Concertée
ZAP : Zone d'Accessibilité Piétonne

Table des figures

1.1 *Typologie de coupures simples selon Frédéric Héran [Héran, 2011b]* 11
1.2 *Tronçon de l'A6/A6b aux abords de Paris et les communes traversées* 12
1.3 *Photographie de l'entrepôt MacDonald en 1970 ©Archives du Nord [SEMAVIP, 2014]* . 14
1.4 *Projet de reconversion de l'entrepot MacDonald (illustrations publiées par la SEMAVIP : http ://www.semavip.fr/nos-projets/les-projets-en-cours/entrepot-macdonald/synthese-projet)* 14
1.5 *Vues de l'ancien viaduc « Embarcadero Freeway » et des espaces sous l'autoroute [Lecroart, 2013a]* 16
1.6 *Typologie de coupures composites selon Frédéric Héran [Héran, 2011b]* 17
1.7 *Les coupures autour de la presqu'île de Lyon* 18
1.8 *Cartographie des effets de coupure sur la mobilité cycliste par l'IAU* 19
1.9 *Réseaux autoroutiers et ferrés à Paris, et les départements de la Seine Saint Denis, du Val de Marne et des Hauts de Seine (données issues de la BD Topo IGN)* 25
1.10 *Typologie basée sur la relation de l'infrastructure de transports au sol urbain [Chandon, 2013]* 26
1.11 *Le modèle générique d'organisation de la circulation porté par les agglomérations pour structurer un territoire compétitif [Reigner et al., 2009]* 27
1.12 *Typologie de stratégie urbaine d'insertion des infrastructures de transport en milieu urbain. [Chandon, 2013]* 29
1.13 *Cartographie du bruit issu du trafic routier au niveau de Porte d'Italie - cartographie de BruitParif* 31
1.14 *Trois exemples de villes traversées par une autoroute* 32
1.15 *Tracé du contournement GCO de Strasbourg [CCI Strasbourg et Bas-Rhin, 2012]* 35
1.16 *Illustrations du projet de Maastricht, consultable sur le site http ://www.a2maastricht.nl/* 36
1.17 *Exemples de dispositions urbaines et architecturales.* 38
1.18 *Illustration de Paul Maymont, Paris sous la Seine de 1962.* 40

2.1 *Les projets de couvertures sur la métropole parisienne, recensés dans la Base de Données* 46
2.2 *Coupes d'une infrastructure de transport en milieu urbain, avant et après couverture* . . 47
2.3 *Simulation du projet de couverture légère à Villeneuve-Loubet* 48
2.4 *Photographie aérienne de la couverture de Porte des Lilas, issu du document de présentation de la SEMAVIP « SEMAVIP, 2 portes parisiennes. », consultable sur https ://api-site.paris.fr* 49
2.5 *Coupe schématique de la Ronda de Dalt par Guy Henri* 50

2.6 *Coupes d'une infrastructure de transport en milieu urbain, avant et après couverture [Moussard et al., 2015]* . . . 51
2.7 *Vue nord de l'immeuble pont de Bruggebouwen au-dessus de l'autoroute A10 à Amsterdam.* 51
2.8 *Exemples de couverture à Vincennes au sein d'un tissu urbain dense (données issues de la BDParcellaire de l'IGN* . . . 54
2.9 *Exemples de couverture à la Porte de Vanves au sein d'un tissu urbain (données issues de la BDParcellaire de l'IGN* . . . 54
2.10 *Topographie sur le site du projet Paris Rive Gauche* . . . 55
2.11 *Illustrations du projet de la gare Porta Susa, issues d'un article du site http ://www.popsu.archi.fr/* 58
2.12 *Schéma d'utilisation de l'espace de Sebastiaan de Wilde [Wilde, 2006]* . . . 60

3.1 *Les quatre grands concepts de base de la systémique [Donnadieu et al., 2003]* . . . 69
3.2 *Outils d'observation et de modélisations du complexe de Jean-Louis Le Moigne et Joël de Rosnay* . . . 71
3.3 *Périmètres de couverture et système de couverture* . . . 73
3.4 *Le système territorial par Alexandre Moine* . . . 74
3.5 *Focalisation sur le système territorial Moine et choix d'une architecture : Espace Urbain + Espace social* . . . 75
3.6 *Appréhension systémique de la composition du territoire par l'Agence Alphaville* . . . 77
3.7 *Appréhension systémique de la composition du territoire par l'Agence Alphaville* . . . 78
3.8 *Croisement de notre appropriation de la spécification des espaces et du sous-système spatial de Moine* . . . 78
3.9 *Spécification de l'espace urbain et des populations* . . . 79
3.10 *Décomposition de l'espace actif sur trois niveaux de granularité* . . . 82
3.11 *Décomposition des espaces mobile, équipé et habité* . . . 82
3.12 *Application de la spécification d'espace sur le secteur Masséna (Paris-Rive-Gauche)* . . . 84
3.13 *Représentation axonométrique de la décomposition sur un immeuble du secteur Masséna* 86
3.14 *Espace équipé du secteur Masséna décomposé plus finement* . . . 87

4.1 *Illustration générique du formalisme NIAM* . . . 99
4.2 *Transcription de la définition de nuisance selon le formalisme NIAM* . . . 100
4.3 *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 1* . . . 101
4.4 *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 2* . . . 101
4.5 *Modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes entre le couple 3* . . . 102
4.6 *Synthèse de modélisation conceptuelle des processus nuisances/gênes* . . . 103
4.7 *Construction méthodologique de la Bête à Cornes* . . . 109
4.8 *Questionnement : A qui profite la couverture ?* . . . 110
4.9 *Questionnement : A qui profite la couverture ? - 2* . . . 110
4.10 *Bête à Cornes appliquée à l'espace urbain* . . . 111
4.11 *Questionnement : Sur quoi agit la couverture ?* . . . 111
4.12 *Résultat de la Bête à Cornes appliquée à la couverture* . . . 113

5.1 *Diagramme pieuvre* . . . 119

5.2 *Les deux types d'interaction du diagramme pieuvre* . . . 120
5.3 *Amorce de l'application de l'outil pieuvre au système couverture* . . . 123
5.4 *Détermination des fonctions principales du système par l'utilisation de l'outil pieuvre* . . 124
5.5 *Détermination des fonctions de contrainte du système par l'utilisation de l'outil pieuvre* . 126
5.6 *Préparation à l'application de l'analyse fonctionnelle externe par l'outil pieuvre* . . . 128
5.7 *Schématisation du groupe de fonctions « Créer une proximité entre les espaces »* . . . 130
5.8 *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces »* . . . 131
5.9 *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces »* . . . 133
5.10 *Schématisation du groupe de fonctions « Créer une proximité entre les espaces »- 2* . . 134
5.11 *Pieuvre de la fonction « Créer une proximité entre les différents espaces - Créer une continuité des réseaux »* . . . 135
5.12 *Schématisation du groupe de fonctions « Protéger les espaces environnementales générées par l'infrastructure »* . . . 136
5.13 *Pieuvre de la fonction « Protéger les espaces des nuisances environnementales générées par l'infrastructure de transport »* . . . 137
5.14 *Schématisation du groupe de fonctions « Créer du foncier »* . . . 138
5.15 *Pieuvre de la fonction « Créer du foncier à destination des espaces »* . . . 139
5.16 *Schématisation du groupe de fonctions « Assurer le confort des populations »* . . . 140
5.17 *Pieuvre de la fonction « Assurer le confort des populations sur les différents espaces »* . 141
5.18 *Schématisation du groupe de fonctions « Assurer l'efficience de l'infrastructure »* . . . 142
5.19 *Pieuvre de la fonction « Assurer l'efficience de l'infrastructure »* . . . 143
5.20 *Diagrammes du nombre de fonctions par type de fonction et niveaux d'action* . . . 150
5.21 *Continuité des réseaux sur la couverture de Gennevilliers* . . . 152
5.22 *Détermination des critères et indicateurs pour chaque fonction* . . . 153
5.23 *Exemple d'assignation de critères et d'indicateurs à deux fonctions* . . . 154

6.1 *Situation géographique des deux cas d'étude : Porte d'Italie à gauche, Rubi à droite* . . 163
6.2 *Coupe du terrain naturel entre le quartier Paul Bourget et le parc Kellerman* . . . 164
6.3 *Coupe de la couverture de Rubi. [De Sola, 2007]* . . . 165
6.4 *Planche de présentation de l'état existant au niveau du traitement du périphérique. D'après une production d'UrbanAct* . . . 166
6.5 *Planche de présentation du scénario 1 : Projet de ville en cours. D'après une production d'UrbanAct* . . . 167
6.6 *Planche de présentation du scénario 2 : Projet d'UrbanAct intégrant un couverture. D'après une production d'UrbanAct* . . . 167
6.7 *Périmètre du projet et limites dans l'identification des interactions* . . . 168
6.8 *Usage du lancer de rayons pour la construction d'isovists 2D et 3D [Van Bilsen and Poelman, 2009]* . . . 170
6.9 *Usage du lancer de rayons permettant la récupération d'informations sur des bâtiments le long d'une rue [Fund, 2012]* . . . 171
6.10 *Principe du lancer du raton appliqué à la couverture* . . . 172
6.11 *Lancer de rayons depuis la couverture pour la conservation des deux premières parcelles* 173

6.12 *Concept de lancer de rayons depuis la couverture face aux irrégularités du parcellaire et exemples d'incohérence (a) et d'irrégularité (b) de parcellaire au bord du boulevard périphérique parisien* 173
6.13 *Schématisation du protocole : Étape 1 - Détermination du périmètre structurel* 175
6.14 *Schématisation du protocole : Étape 2 - Détermination du périmètre d'usage local* . . . 175
6.15 *Schématisation du protocole : Étape 3 - Application du rayon d'influence* 176
6.16 *Schématisation du protocole : Étape 4 - Identification des éléments structurants* 177
6.17 *Schématisation du protocole : Étape 5 - Appréciation de la pertinence des éléments structurants. P : Pertinent, NP : Non Pertinent* 177
6.18 *Schématisation du protocole : Étape 6 - Détermination des satellites du système* 178
6.19 *Périmètre obtenu par application du protocole* 178
6.20 *Protocole de détermination du périmètre du système urbain de couverture* 179
6.21 *Périmètre fonctionnel sur le cas d'étude de Porte d'Italie* 180
6.22 *Spécification des espaces et composition structurale sur le cas d'étude de Porte d'Italie* . 181
6.23 *Synthèse des fonctions potentiellement effectives pour chaque scénario* 182
6.24 *Périmètre fonctionnel sur le cas d'étude de Rubi* 184
6.25 *Spécification des espaces et composition structurale sur le cas d'étude de Rubi* 185

B.1 *Page 1 de la fiche de la couverture de Noisy le Grand* 212
B.2 *Page 2 de la fiche de la couverture de Noisy le Grand* 213
B.3 *Page 1 de la fiche de la couverture de Gennevilliers* 214
B.4 *Page 1 de la fiche de la couverture de Zuidas* 215
B.5 *Page 2 de la fiche de la couverture de Zuidas* 216

Liste des tableaux

2.1 *Avantages et inconvénients des types de couvertures d'infrastructures routières en fonction des longueurs couvertes [Moussard et al., 2015]* . . . 53

3.1 *Comparaison entre analytique et systémique [Béraud, 2013] inspiré des travaux de Le Moigne* . . . 68
3.2 *Grille d'interprétation de l'objet technique couverture, inspiré de [Allaire, 2012] et [Le Moigne, 1969]* . . . 87
3.3 *Grille d'interprétation du système urbain de couverture, inspiré de [Allaire, 2012] et [Le Moigne, 1969]* . . . 88

4.1 *Proportion de motivations représentées dans la base de données* . . . 94
4.2 *Nuisances déterminées avec l'étude de la base de données et gênes associées* . . . 96
4.3 *Couples d'agents nuisibles/sensibles sur l'environnement* . . . 97
4.4 *Grille de comparaison des méthodes d'analyse fonctionnelle adapté de [Allaire, 2012]* . . . 107
4.5 *Grille d'interprétation de l'objet technique couverture actualisée* . . . 113
4.6 *Grille d'interprétation du système urbain de couverture actualisée* . . . 114

5.1 *Fonctions principales du système* . . . 125
5.2 *Fonctions de contrainte du système* . . . 126
5.3 *Matrices des fonctions principales par espaces mis en interaction* . . . 145
5.4 *Matrices des fonctions de contrainte par espace mis en interaction* . . . 146
5.5 *Positionnement des matrices de fonctions principales et de contrainte dans le croisement niveaux d'action par type d'action* . . . 147
5.6 *Matrice synthétique des fonctions* . . . 148
5.7 *Matrice synthétique des fonctions déclinées au rang 3* . . . 149
5.8 *Trame de fiche d'évaluation de fonctions* . . . 154
5.9 *Exemple de fiche appliquée à la fonction « Créer une proximité entre l'espace mobile et l'espace mobile / Créer une continuité des réseaux »* . . . 157
5.10 *Exemple d'une fiche de description d'indicateur [Serafin, 2015]* . . . 158

C.1 *Fonctions internes de l'ouvrage de couverture d'après l'étude de Pierre Mérand* . . . 218
C.2 *Fonctions relatives à la construction et la déconstruction des ouvrages de couvertures d'après l'étude de Pierre Mérand* . . . 219

D.1 *Tableau de fonctions* . . . 222

E.1 *Protocole de défintion de périmètre appliqué à Porte d'Italie et Rubi* 230