

# Les Eco-quartiers lus par la mobilité : vers une évaluation intégrée

A. ALI<sup>1</sup>, I. CARNEIRO<sup>1</sup>, L. DUSSARPS<sup>1</sup>, F. GUÉDEL<sup>1,2</sup>, E. LAMY<sup>1,3</sup>,  
J. RAIMBAULT<sup>1,4</sup>, L. VIGER<sup>1</sup> & V. COHEN<sup>1</sup>

*sous la direction de*

T. AW<sup>5,6</sup> & S. SHADEGIAN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Département VET, Ecole Nationale Des Ponts et Chaussées

<sup>2</sup>Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy

<sup>3</sup>Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris

<sup>4</sup>Graduate School, Ecole Polytechnique

<sup>5</sup>LVMT - UMR-T 9403 IFSTTAR

<sup>6</sup>SETEC International

17 juin 2014

## Résumé

Étant donné différentes réalisations d'un même "fait urbain" [9], il est souhaitable de pouvoir extraire des indicateurs relativement généraux et intégrés afin de quantifier de manière objective un système donné sur son niveau de performance au regard d'objectifs voulus pour la concrétisation de ce fait abstrait. Dans notre cas, le fait urbain observé dont nous supposons l'existence est celui relativement récent des "éco-quartiers", dont les définitions peuvent être assez diverses mais dont le thème général reste la conception d'un tissu urbain de manière "intégrée" (prenant en compte de manière cohérente de multiples objectifs hétérogènes) satisfaisant à des critères de développement durable [12], pour lesquels notre évaluation s'est centrée sur les questions de mobilité. Notre projet consiste en une analyse de la mobilité sur les quartiers particuliers que représentent les écoquartiers, et plus spécialement, en une évaluation de son impact sur le bilan global de développement durable de ces phénomènes si médiatisés.

## 1 Présentation de la démarche et définition de l'Eco-Quartier

Pour réussir cette analyse nous avons effectué une première mise en contexte afin, principalement, de se demander ce qu'est un écoquartier. Ceci permettra de déterminer ce que nous attendons de la mobilité dans un quartier qualifié de durable, quels équipements sont nécessaires, quels comportements sont souhaitables, quels résultats sont attendus. Pour trouver la définition d'un écoquartier, nous avons lu quelques articles critiques sur les écoquartiers. Nous avons également effectué une analyse de marché qui nous a amené à déterminer les thèmes majeurs abordés dans n'importe quel écoquartier et les moyens pour les évaluer. En France, nous avons depuis 2012 le label Ecoquartier mais d'autres acteurs avaient préalable-

ment amorcé la démarche comme l'association HQE avec HQE Aménagement, l'AEU de l'ADEME, ou @d aménagement durable de la région Ile-de-France. A l'étranger, les certifications sont délivrées par LEED ND, BREAM Communities et CASBEE Urbain Development respectivement en Amérique du Nord, Angleterre et au Japon. Ce benchmark nous a aussi permis de déterminer quelques facteurs de réussite ainsi que certaines causes d'échec de mise en place de certains écoquartiers. Les facteurs de réussite les plus en lien avec notre sujet sont l'attitude positive des habitants ainsi que la prise en compte de l'environnement dans la conception du quartier. L'attitude des habitants par rapport à leur quartier est très souvent en lien avec leur implication dès les phases amont du projet. La prise en compte de l'environnement englobe le fait de penser l'écoquartier dans son environnement

et pas comme un quartier fermé, et ce autant pour les formes urbaines que pour la densité de commerces et la desserte en transports. C'est ce qu'on pourrait appeler une vision intégrée de l'écoquartier.

A partir des analyses menées, nous avons abouti à certaines possibilités de perception de ce qu'est un écoquartier. De la vision la plus négative à la plus positive, les plus sceptiques qualifieront ces quartiers de poudre aux yeux, d'apparences et de façades, reportant les problèmes sur les quartiers voisins et communiquant uniquement sur certains points sur lesquels des efforts ont été faits en occultant massivement des points beaucoup moins roses (ou verts dans le cas d'un écoquartier). D'autres diront que, même si les plus grands efforts actuellement possibles sont faits dans ces quartiers, ils continueront à être une goutte d'eau dans l'océan du parc immobilier et les fonds investis dans la qualité socio-environnementale de ces quartiers sont totalement démesurés face à leur influence à l'échelle macroscopique d'un état par exemple voire du monde. D'autres encore voient ces quartiers comme un prétexte, une forme de couverture pour l'extension urbaine. Ceci s'applique bien sûr uniquement aux quartiers qui sont faits en prolongement voire en marge de l'urbanisation existante. Une manière positive de voir les écoquartiers et d'intégrer le fait que ces quartiers concentrent souvent de nombreuses technologies et de les voir comme des incubateurs pour l'innovation, des quartiers où peuvent s'appliquer, grande nature, des méthodes innovantes de gestion des eaux et des déchets, des moyens alternatifs de fabriquer de l'énergie ou encore des structures permettant de mettre en commun les moyens. Cette manière de voir les écoquartiers en fait des sortes de laboratoires. Enfin, les plus optimistes verront dans ces quartiers l'avenir de la ville, une forme d'habitat qui va progressivement remplacer, au fur et à mesure des renouvellements urbains, la ville telle qu'elle existe aujourd'hui.

Pour revenir à une vision plus objective qui tire son essence de l'étude de marché ainsi que de toutes ces visions subjectives, on pourrait définir l'écoquartier comme un quartier offrant un milieu de vie agréable aux gens qui le fréquentent (habitants, travailleurs, visiteurs occasionnels) et dont les impacts sur son environnement sont connus, ont été étudiés et optimisés. Cette définition, volontairement très générale est faite pour donner un axe autour duquel il faut développer. La définition donnée à un écoquartier dépendra bien sûr de l'acteur qui cherche à le définir. Pour le concepteur, ce sera un quartier conçu de telle manière que les usagers se voient remettre un quartier où ils peuvent agir selon le maximum de leur capacité et de leur volonté pour respecter les concep-

tions actuelles de durabilité. De toute façon, les écoquartiers sont la manifestation urbaine du développement durable. Or celui-ci est par essence ce qu'on pourrait appeler un paradigme mou, c'est-à-dire qu'il est très ouvert, non défini, afin qu'il puisse évoluer et permettre l'innovation. Ainsi, les écoquartiers ne sont donc, de par leur origine, pas définis. Frank Faucheux, en charge du dossier écoquartier au ministère de l'Egalité des Territoires et du Logement, dit à ce propos : « Dites-moi où vous êtes et je vous dirai comment doit être votre écoquartier. ». Par cette phrase il exprime le fait qu'un bon écoquartier dans le contexte A ne sera pas forcément un bon écoquartier dans le contexte B mais souligne également un manque de transparence quant à l'attribution du label Ecoquartier.

Depuis le lancement en 2012 du label, par le ministère de l'Egalité des Territoires et du Logement, 45 opérations ont été labellisées en 2013 et une deuxième vague de labellisation est en cours. La procédure pour les collectivités est assez simple, puisque celles-ci ont juste dans un premier temps, à s'engager à respecter 20 engagements non chiffrés, parmi lesquels, un seul de ces engagements concerne la mobilité : « privilégier les mobilités douces et le transport collectif pour réduire la dépendance à l'automobile ». La seconde étape consiste à remplir un dossier qui comprend 3 parties. Tout d'abord, la collectivité renseigne des informations sur son contexte en fournissant des données objectives sur son territoire et sur le montage de l'opération afin que celui-ci soit pris en compte dans l'analyse du projet sans être un frein au développement d'un écoquartier. La collectivité remplit également un tableau de 20 données chiffrées liées aux 20 engagements précédant. Etant donné qu'un seul engagement concerne la mobilité, il n'existe dans le dossier de labellisation qu'un seul critère lié : « Quel est le nombre de logements situés à moins de 500 mètres d'un arrêt de transports en commun ? ». Dans la seconde partie, la collectivité à la possibilité de présenter son projet sur une page avec comme intitulé « 24 heures dans la vie d'un habitant de mon écoquartier. » Enfin, dans la troisième partie, la collectivité doit répondre de manière synthétique jusqu'à 6 questions en fonction du thème. Dans tous les domaines, dont celui de la mobilité, les questions étant assez ouvertes, pour exemple la première question « En quoi l'aménagement du quartier favorise-t-il les déplacements en modes actifs (piétons, vélos, patinettes...) au sein du quartier et vers les quartiers adjacents ? », les réponses des équipes en charge du projet seront donc dispersées. L'ensemble du dossier est ensuite pourtant évalué par 3 experts, un local, un national et un extérieur à la fonction publique et une partie de

l'évaluation consiste à attribuer jusqu'à 3 étoiles en fonction des réponses ouvertes. Au final, le document est concis, clair et facilement compréhensible par les collectivités mais avec seulement 20 indicateurs chiffrés relativement simples, et la notation subjective par des experts, l'évaluation est loin d'être transparente ni suffisante et performante en particulier pour la mobilité.

Dans ce contexte d'écoquartier, on peut alors se demander quelle est la place de la mobilité dans la construction actuelle des écoquartiers. Mais on peut également se demander, au vu des travaux effectués par la communauté scientifique, quelle est la place que les écoquartiers devraient avoir dans leur conception ainsi que dans leur évaluation. La mobilité comprend d'abord à un enjeu environnemental évident à savoir les dégagements de CO<sub>2</sub>. Tendre vers une mobilité durable, c'est limiter les émissions de gaz à effet de serre. Prendre en compte la mobilité dans un projet de quartier durable, c'est aussi limiter les temps de déplacements contraints pour permettre aux habitants plus de loisirs, plus de sorties, plus d'activités pour les enfants, plus de temps pour soi, moins de stress. En fait, le poste de la mobilité existe déjà dans toutes les évaluations mais il paraît souvent sommaire et évalue souvent uniquement la présence de transports collectifs ou non à proximité de l'écoquartier. De plus, ce thème est en forte corrélation avec d'autres postes d'évaluation des écoquartiers existant comme la qualité de l'air, la diversité des fonctions, la lutte contre l'étalement urbain, l'épanouissement des êtres humains. C'est à partir de ces postes, du benchmark et de notre propre vision que nous avons développé notre grille d'évaluation de la mobilité dans les écoquartiers.

## 2 Définition de notre référentiel d'évaluation

Abordons maintenant la démarche d'établissement du référentiel d'évaluation. Nous commencerons par en rappeler l'intérêt dans le cadre de notre problème. Ensuite, le lecteur pourra, pas à pas, en suivre les différentes étapes : nous expliquerons, pour dévoiler les concepts sous jacents, mieux comprendre les idées latentes et transverses, les diverses phases qui ont abouti à la grille terminale – partant du principe qu'un tableau illustratif sera plus explicite qu'un long raisonnement théorique. Enfin, cette même grille terminale sera présentée, sous les angles les plus divers et variés – aux extrêmes de ce que le possible autorise.

### 2.1 Une évaluation par indicateurs

Au premier plan du fil du récit s'installe la problématique : la commande dicte sa volonté - étudier comment un quartier peut-être éco-conçu en matière de mobilité, tout en ajustant les moyens de mobilité aux fonctions urbaines associées au quartier -, nous voulons en approcher sa cause. Le mouvement premier résulte, on l'a vu, d'une certaine défiance contre l'appareil productif des écoquartiers qui se drape de verdoyantes et fleurissantes raisons, s'entoure – s'accapare ?- de la légitimité écologique. Le second mouvement, répondant et prolongeant le premier, est alors celui de raison et sagesse : rendons objectif une analyse critique de la durabilité. Et la première humeur ayant encore ses effets, plaçons nous sous un angle d'attaque favorable aux intuitions : concentrons nos efforts sur la mobilité qui d'abord semble un point faible dans la défense des écoquartiers. Ceci posé, l'interrogation se porte sur l'objectivation de l'analyse : quels moyens permettront de rendre l'examen impartial, de quels matériaux l'observation devra-t-elle se composer pour être juste et équitable. Les façons d'approcher les réalités de la ville sont nombreuses et variées, d'esthétique à politique jusqu'à la rationalité scientifique. Nous préférons pour ce devoir la dernière, et décidons une approche chiffrée par l'intermédiaire d'indicateurs. Ceux-ci en effet se basent sur des faits vrais, palpables et concrets. Certes le lecteur pourra contester et reprocher la manipulation facile, la dimension subjective d'une sélection des chiffres parmi l'ensemble des choses mesurables. Nous répondons qu'à notre goût une telle démarche permettant au contraire de souligner ces choix subjectifs se rapproche proprement d'une méthode scientifique, qui laisse apparent ses présupposés et rend son discours réfutable. Car les indicateurs ont la vertu de la clarté, et ne rejette pas l'évaluation, leurs présupposés sous des dres d'experts. Les contestations seront donc bienvenues, s'intégrant absolument dans la méthode critique, dont un des objectifs tend à la publicité, à la réflexion collective et à la transparence contre la méthode du secret et du dogme. Il est vrai que la construction de notre grille d'indicateurs, résulte également d'un choix biaisé de données mais nous souhaitons à souligner que pour le choix de ces données nous avons fait abstraction de savoir si les données étaient disponibles ou pas.

### 2.2 Évolution de la démarche

Le projet débuta en avril de la présente année. Nous en présentons les phases de conception afin que le lecteur puisse en saisir les directions, et bien percevoir les tensions surmontées.

L'épisode de la revue bibliographique a été conté ; l'histoire se poursuit maintenant par le regroupement, la mise en action et en idée des indicateurs rencontrés : il faut les englober au sein d'une grille qui, par diverses mécaniques, les mettent en relation, leur donnent un sens collectif, imprime un mouvement global. Deux réflexions parallèles furent menées, dont les intentions aboutirent à deux grilles sinon antagonistes au moins différentes. La conciliation fut trouvée dans l'émergence d'une troisième grille, fille des deux premières.

La première grille utilisait le pouvoir comparatif et quantitatif des indicateurs. Chaque indicateur devait mesurer une réalité physique du quartier (par exemple le ratio elle-même relié à un enjeu (préservation des énergies) et à un thème (mobilité neuve) ; chaque indicateur aboutissait à une note, la finalité étant de permettre une évaluation radar. Par cette méthode, la comparaison entre quartiers devenait simple. Mais comme toutes choses, elle avait ses inconvénients dont, l'ambiguïté voire la partialité des relations entre indicateurs et effets physiques, la difficulté de l'établissement d'une note.

La seconde grille adoptait une pensée inverse : elle voulait prendre l'écoquartier dans son aspect subjectif, et considérer non les effets physiques mais la cohérence du discours tenu sur celui-ci. Avec les mêmes indicateurs mais par des engrenages différents – chaque indicateur par comparaison d'une valeur seuil était ramené à une réponse vrai/faux selon que le projet tenait compte ou non du critère ; la valeur seuil était fixée de manière lâche -, elle fondait l'évaluation sur un entonnoir thématique : dans une liste de quatre thèmes, l'écoquartier pouvait prétendre à la certification de l'un des thèmes à condition d'avoir validé le thème inférieure. Cette méthode permettait donc une évaluation des directions du projet sans être trop restrictive sur les solutions envisagés ni trop normative sur les conceptions de l'écoquartier ; le système de validation successive avait cependant le net défaut d'un manque complet de souplesse et rejeter à tort certains quartiers.

Une troisième grille se révéla donc nécessaire, elle devait garder les mécanismes de la première et l'esprit de la seconde, redécoupant les indicateurs selon quatre temporalité : le lecteur est invité à lire la partie suivante pour en connaître la substance.

## 2.3 Présentation du référentiel

Conformément à la démarche explicitée ci-dessus, nous avons en définitive produit une grille unifiée d'indicateurs, que nous appellerons notre référentiel d'évaluation. Si les objectifs d'éco-mobilité consti-

tuent un prisme majeur de lecture de la grille, ils sont néanmoins répartis selon un second prisme, à un niveau plus fondamental, selon que l'indicateur relève du contexte du quartier, de la planification, ou de l'usage qui en est fait. En effet, la mise en place d'un système de mobilité et sa durabilité relève principalement de l'aménageur au sens large, mais également de la situation dans laquelle se trouve effectivement le quartier, ainsi que de l'utilisation particulière qu'en font les usagers. Ce découpage correspond également aux trois temps de la vie d'un projet urbain. Nous avons ainsi établi 8 objectifs, ventilés en 34 sous-objectifs, apportant une précision supplémentaire, et étant mesuré par un indicateur. Pour s'assurer de la pertinence de notre découpage et en particulier de son équilibre, chaque sous-objectif se rapporte à un jeu d'enjeux de développement durables. En ce qui concerne l'indicateur spécifiquement associé à un sous-objectif, nous nous sommes évertués à sélectionner celui, parmi les possibles, qui représentait le mieux le phénomène souhaité, tout en étant comparable, et bien entendu, pas trop difficile à calculer d'un point de vue de l'accès aux données. Nous verrons par la suite que la récolte des données ne s'est pas faite aussi simplement que prévu.

Ce qui ressort à première vue de notre grille est une relativement grande représentation des données facilement chiffrables et accessibles, telles le stationnement par exemple. Les variables booléennes, exprimant un état de fait, ont pour la plupart été remplacées au profit de variables chiffrables dans une volonté d'évaluation précise. Cependant, on a pu dans ce processus perdre un peu en significativité sur certains indicateurs. De plus, certains phénomènes plus difficilement chiffrables ou accessibles semblent manquer de cette grille. Le cas le plus frappant est peut-être le cas du transport de fret à destination du quartier, intégré au début puis abandonné faute de données. Et pourtant des initiatives telles que la livraison des magasins de centre-ville par des véhicules électriques existent déjà et ont vraisemblablement un impact environnemental positif.

## 2.4 Méthode d'exploitation

Nous disposons donc in fine d'une grille unifiée d'indicateurs constituant un référentiel d'évaluation du système de mobilité d'un écoquartier, et nous sommes donc prêts à la mettre en application. Comme nous l'évoquions précédemment, notre méthode d'évaluation a connu des évolutions tenant compte de notre appréhension du projet et des ressources disponibles. Si dans un premier temps, une évaluation absolue de type radar par rapport à des va-

leurs de référence était envisagée, la non-disponibilité nous a amené à reconsidérer la chose. Le référentiel final permet donc finalement deux approches issues de nos réflexions antérieures. La première est celle d'une comparaison entre quartiers, consistant à comparer les valeurs pour chaque sous-objectif et donc objectif, quitte à pondérer différemment l'importance de chaque indicateur, comme nous le verrons dans la partie simulation. Cette méthode permet donc, sinon de classer, du moins de situer un quartier dans le champ des écoquartiers durables. La seconde approche consiste en une évaluation par temporalité. Le premier temps du projet permet de prendre en compte les déterminants locaux du contexte qui ne sont pas gouvernés par la collectivité n'a pas de certifier la valeur de la conception et le potentiel durable du projet compte tenu de son positionnement dans l'espace de la ville. Vient ensuite l'étude de la partie de planification et de formulation de l'offre avec les apports de l'écoquartier en terme de mobilité éco-conçue. Puis, l'étude de l'usage que les habitants font du quartier achève l'évaluation, en constatant si l'usage est conforme à la planification.

### 3 Mise en application et comparaison

#### 3.1 Présentation générale des éco-quartiers d'étude

Pour mettre en œuvre notre référentiel, nous avons choisi de l'appliquer sur deux « écoquartiers » dont nous étudierons les performances de mobilité durable. Ces quartiers sont la Cité Descartes et le Sycomore. Nous les avons choisis car ils ont deux profils fondamentalement différents. La cité Descartes est, pour la plus grande partie, déjà constitué, et contient principalement des zones d'enseignement et de recherche. La zone de Sycomore est une zone encore non construite qui est vouée à accueillir principalement des logements. Tester la compatibilité de notre référentiel à ces deux cas se relève donc, à priori, intéressant.

**Cité Descartes** Créée en 1983, la Cité Descartes se situe sur la commune de Champs sur Marne, au cœur de la ville nouvelle de Marne la Vallée. Pôle principal de recherche et d'enseignement de l'Est Parisien, le campus regroupe près de 20000 étudiants, 3000 enseignants et chercheurs et 3000 salariés réunies au sein des universités, grandes écoles et laboratoires de recherche qui se partagent les 123 hectares que couvre le campus. Son objectif est de pouvoir concentrer

les universités, les entreprises et les services publics locaux afin de créer un pôle d'excellence au rayonnement mondial. Un développement de près de 840 000m<sup>2</sup> est encore prévu. Il devrait contenir des bureaux, des logements des commerces et des équipements publics.

Souvent présenté comme un quartier à très faible empreinte carbone en raison de la multitude de ses bâtiments à énergie positive, il n'est cependant jamais officiellement désigné sous le terme d'éco quartier. Le quartier ne serait donc qu'une vitrine d'exposition du savoir-faire éco-technologique, visant à promouvoir une réflexion entre les différents organismes locaux concernant la ville durable.

Notre évaluation nous permettra de déterminer si la Cité Descartes peut être qualifiée d'éco quartier d'un point de vue de la mobilité, au-delà de l'image de ville durable qu'elle renvoie.

**Sycomore** Situé à l'Est de la commune de Bussy Saint-Georges, également à Marne la Vallée, le projet de Sycomore n'est pas encore réalisé. Il prévoit l'installation sur ses 120 hectares de 4500 logements, 3500m<sup>2</sup> de commerces, 40000 m<sup>2</sup> d'équipements publics et 25 hectares d'espaces verts. La présence d'un grand parc central traduit la volonté d'intégrer le quartier dans la ville mais aussi en harmonie avec les espaces verts environnants. Le plan de déplacement à également prévu de réaliser des aménagements visant à réduire de 36% l'impact carbone lié aux transports. Ce projet est donc, à contrairement à la Cité Descartes, vendu comme un réel écoquartier présentant des engagements précis et quantifiés en terme de durabilité de la ville.

Afin de décrire les contextes urbains autour desquels les deux sites sont implantés, nous proposons d'étudier les communes de Champs-sur-Marne et de Bussy Saint-Georges.

La commune de Champs sur Marne bénéficie d'un réseau de transport structurant important, permettant de relier la ville à Paris via l'autoroute A4 ou grâce à la ligne de RER A. La station du RER A est également le lieu de passage de 4 lignes de bus et d'un Noctilien qui relie la ville à ses alentours. La place des transports en commun dans la ville est relativement importante puisque près de 40% des déplacements y sont effectués en TC (contre 50% en voiture). Le pourcentage des résidents travaillant dans la commune est faible (15%); C'est un des éléments déterminant dans la quantité de déplacement réalisés dans la zone. Cela est principalement dû à une dissymétrie entre les catégories socio-professionnelles présentes dans la ville et les types d'emplois qui y sont proposés. En effet, une forte part des emplois créée par la Cité Descartes

est destinée à des cadres qui sont pourtant peu nombreux dans la ville.

La Cité Descartes a pour le moment plutôt contribué à augmenter la quantité de transport par travailleur, en raison de la non homogénéité entre les résidents locaux et les types d'emplois présents sur la commune. Bien qu'une bonne part des déplacements soit réalisée en TC, les besoins en transports restent importants en raison des caractéristiques intrinsèques de la ville.

La ville de Bussy Saint-Georges est la commune de Marne la Vallée ayant le plus fort taux de croissance dans ces 10 dernières années. Elle bénéficie d'un réseau de transport similaire à Champs-sur-Marne, avec un accès direct à l'A4 et au RER A. Le quartier de Sycomore se situe à 1 km de la gare. Un projet d'implantation de gare RER dans la zone est également à l'étude. La part des TC est également assez importante (45% contre 49 pour les VP). Seulement 11,7% des habitants travaillent dans la commune. Ici encore, l'équilibre population/emploi peut être remis en cause. La ville possède trop peu d'emploi (ratio emploi/ actifs de 0,56) et qui ne sont pas adaptés à la population locale. Les besoins en déplacement sont donc encore une fois relativement importants. L'écoquartier de Sycomore est donc dans une situation idéale du point de vue de l'accessibilité aux TCs malgré des habitudes de transports peu compatibles avec la notion d'éco mobilité. Notre évaluation nous permettra de déterminer si l'implantation de l'écoquartier peut modifier les habitudes de transports par rapport à la région.

### 3.2 Comparaison des habitudes de mobilité (EGT)

L'étude des projets d'écoquartiers requiert une bonne connaissance des pratiques actuelles en matière de mobilité dans les communes d'étude que sont Champs-sur-Marne et Bussy-Saint Georges. La grille d'indicateurs renseignés est un premier moyen de positionner les performances de chacune de ces zones, mais cette méthode ne se suffit pas à elle seule. En effet, ces deux villes présentent la spécificité d'appartenir à la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Il convient par conséquent de dresser un bilan à l'échelle de cette division administrative historique sur les pratiques des habitants en matière de mobilité, et de les mettre en parallèle avec les usages des habitants de deux autres villes nouvelles comparables (notamment au sujet de leur distance de Paris) : Cergy-Pontoise et Evry.

A leur conception dans les années 1960, les villes nouvelles étaient supposées proposer un nouveau mo-

dèle de mobilité durable, avec des transports en commun très développés, à l'image des RER. Nous montrons dans cette partie que ce modèle n'est plus une réussite de nos jours. L'usage de la voiture s'apparente en effet plus à un comportement de grande couronne que de proche banlieue parisienne, et ce à différents égards (taux de motorisation, part modale de la voiture pour tous types de motifs).

Une telle conclusion amène à reconsidérer certains dogmes qui avaient été érigés lors du premier schéma directeur de 1965 de la région Ile-de-France, parmi lesquels figure l'inopérance du RER à résoudre toutes les demandes en transport en commun. Ce point renforce la nécessité de développer les modes de liaisons douces et les réseaux TC secondaires mais aussi de repenser la mobilité durable dans un écoquartier.

### 3.3 Extraction des données et nos hypothèses

La mise en application de notre grille d'évaluation passe ensuite par la récolte intensive de données de types et d'origines divers, et c'est l'étape que nous nous proposons de développer maintenant. Nous avons à notre disposition les données classiques de l'INSEE, mais également les bases de données raffinées de l'Enquête Globale Transport 2010 par l'intermédiaire de M. Aw, ainsi que certains documents des aménageurs de nos écoquartiers de choix, hélas trop généraux et agrégés. Partant de ce constat, nous avons quelque peu dû changer d'approche quant à notre évaluation, en ne prétendant plus comparer exhaustivement les écoquartiers, mais plutôt en évaluant à la fois la robustesse de notre évaluation, et en jugeant l'effort réalisé lors de la conception. Certains indicateurs étaient ainsi directement calculables à partir de données à portée, mais pour d'autres, nous avons dû, en partant d'une valeur de base régionale ou à l'échelle de Marne-la-Vallée, faire des hypothèses sur la position de nos écoquartiers par rapport à cette référence. Une phase de scénarisation sera donc ensuite nécessaire afin de voir l'impact d'une modification marginale de ces indicateurs sur le bilan de l'écoquartier.

### 3.4 Evaluation et critiques

Une fois les données rassemblées pour nos deux écoquartiers selon la méthodologie expliquée ci-dessus, nous pouvons tout d'abord procéder à une évaluation qualitative selon les approches évoquées précédemment.

Tout d'abord, dans une comparaison simple entre les deux quartiers, on constate ce qui apparaît clairement sur le terrain, à savoir que Sycomore a une

mobilité mieux conçue en terme de développement durable que la Cité Descartes, même si la différence est maigre sur certains points. En particulier, si le prétendu authentique écoquartier s'attaque franchement à l'objectif de décourager le recours à la voiture particulière, c'est clairement moins le cas de la Cité Descartes. En revanche, les deux quartiers tendent à se valoir quant à l'objectif de renforcement de l'utilisation des transport en commun. A ceci près qu'au regard des migrations pendulaires, la Cité Descartes ne favorisant pas le logement étudiant, n'attirant pas davantage les cadres, elle favorise implicitement un flux quotidien élevé de déplacements, ce qui n'est pas fondamentalement durable...

Ensuite, l'approche par temporalité, elle, est relativement moins parlante puisque Sycomore n'ayant pas encore été investi et apprivoisé par des habitants, l'étude d'usage ne peut se faire. En ce qui concerne le contexte, il a manifestement été pris en compte pour les deux quartiers, mais la planification dans le but d'une éco-mobilité semble manifestement meilleur à Sycomore.

En outre, en utilisant la comparaison faite ici entre ce qui se revendique un vrai écoquartier et un quartier engagé vers un développement éco-responsable, on peut d'une certaine manière à la fois mesurer le chemin restant à parcourir pour le quartier en retard, mais aussi mesurer l'effort accompli par l'éco-quartier. En effet, les indicateurs peuvent pointer les écarts entre les quartiers (à ce titre plus la grille sera employé et plus le nombre de quartiers renseignés et évalués sera important, plus la pertinence de la grille s'accroîtra) et au moyen d'une scénarisation, on peut évaluer la modification induite sur la mobilité par l'obtention d'un meilleur ratio. Cependant, avant d'aborder cette question plus en détail, on peut s'intéresser à la robustesse de notre grille et à l'importance respective des différents indicateurs dans celle-ci.

## 4 Vers une évaluation de la robustesse d'une caractérisation intégrée du "Fait Urbain" : Application des méthodes d'approximation d'intégrales

### 4.1 Présentation et formalisation

**Présentation** Un élément essentiel pour la quantification d'un phénomène est une estimation de la robustesse (statistique et selon d'autres critères que

nous définirons par la suite) de l'évaluation, afin d'être en mesure d'affirmer que la caractérisation sera reproductible sous les mêmes conditions et n'est pas une aberration statistique par exemple. Nous proposons une méthode innovante d'évaluation de la robustesse, se basant sur des résultats mathématiques liés à l'approximation statistique d'intégrale et sur des méthodes classiques d'analyse multicritères.

**Formalisation** On se donne un nombre fini  $(S_i)_{1 \leq i \leq N}$  de systèmes territoriaux disjoints (les "éco-quartiers") représentés par des jeux de données et des indicateurs intermédiaires :

$$S_i = (\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i) \in \mathcal{X}_i \times \mathcal{Y}_i$$

Avec  $\mathcal{X}_i = \prod_k \mathcal{X}_{i,k}$  et  $\mathcal{X}_{i,k} = \mathbb{R}^{n_{i,k}^X p_{i,k}^X}$  (idem pour les  $\mathcal{Y}_i$ ) et  $I_X(i, k)$  (resp.  $I_Y(i, k)$ ) fonction de désignation du type de variable (resp. de l'indicateur)

On distingue les "données brutes"  $\mathbf{X}_i$  à partir desquelles sont calculées des indicateurs via des fonctions explicites, des "indicateurs"  $\mathbf{Y}_i$  qui pourront déjà être sorties de modèles élaborées, en général calculés via des modèles agents représentant un aspect du système territorial.

On définit l'espace partiel caractéristique du fait urbain est

$$\begin{aligned} (\mathcal{X}, \mathcal{Y}) &\stackrel{\text{def}}{=} (\prod_c \tilde{\mathcal{X}}_c) \times (\prod_c \tilde{\mathcal{Y}}_c) \\ &= (\prod_{\mathcal{X}_{i,k} \in \mathcal{D}_X} \mathbb{R}^{p_{i,k}^X}) \times (\prod_{\mathcal{Y}_{i,k} \in \mathcal{D}_Y} \mathbb{R}^{p_{i,k}^Y}) \end{aligned}$$

, avec  $\mathcal{D}_X = \{\mathcal{X}_{i,k} | I(i, k) \text{ distincts}, n_{i,k}^X \text{ maximal}\}$  (idem pour les  $\mathcal{Y}_i$ ). Il s'agit de l'espace sur lequel les indicateurs seront intégrés.

Avec  $\mathbf{X}_{i,c}$  les données projetées par injection canonique dans le sous-espace correspondant, bien définies pour tout  $i$  et tout  $c$ , on fait l'hypothèse que les indicateurs possèdent tous un noyau : il existe  $H_c$  un espace de fonctions sur  $(\tilde{\mathcal{X}}_c, \tilde{\mathcal{Y}}_c)$  à valeur dans  $\mathbb{R}$  tel que pour tout  $h \in H_c$  :

- $h$  est "suffisamment régulière" (distributions classiques conviennent)
- $q = \int_{(\tilde{\mathcal{X}}_c, \tilde{\mathcal{Y}}_c)} h$  est une fonction de qualification du fait urbain (indicateur)

Par exemple, pour une moyenne des lignes de  $\mathbf{X}_{i,c}$ , on aura  $h(x) = x \cdot f_{i,c}$  avec  $f_{i,c}$  densité de la distribution, pour un taux suivant une certaine condition, on aura  $f_{i,c} \chi_{\text{condition}}$  ; etc. Pour les  $\mathbf{Y}$  on aura en général un Dirac (pour les calculs agrégés).

On pondère ensuite les indicateurs pour obtenir la fonction d'agrégation sur lequel l'estimation statistique sera effectuée (nécessite une normalisation des indicateurs). Pour  $i, c$  et  $h_c \in H_c$  donnés,  $w_{i,c}$  est une combinaison (suivant [14]) de :

- poids objectif : importance locale du critère  $w_{i,c}^L = \frac{\hat{q}_{i,c}}{\sum_c \hat{q}_{i,c}}$  où  $\hat{q}_{i,c}$  est un estimateur de  $q_c$  pour les données  $\mathbf{X}_{i,c}$
- poids subjectif : différentes méthodes (notations, ordre d'importance etc) revues dans [14] pour donner un poids subjectif normalisé. En première implémentation, nous ne tiendrons pas compte de ce point car la mise en place complice considérablement le calcul (choix de la méthodes, nombreux tests, etc).

On est alors en mesure d'approximer la fonction agrégée, utilisant un théorème classique d'approximation d'intégrale[13]. Avec  $\mathbf{X}_{i,c} = (\vec{X}_{i,c,l})_{1 \leq l \leq n_{i,c}}$ ,  $D_{i,c} = Discp_{\vec{X}_{i,c}, \infty}(\mathbf{X}_{i,c})$  la discrédance du nuage de points ([10]) et  $h \in H_c$ , on a la majoration de l'erreur sur l'intégrale

$$\left\| \int h_c - \frac{1}{n_{i,c}} \sum_l h_c(\vec{X}_{i,c,l}) \right\| \leq K \cdot \|h_c\| \cdot D_{i,c}$$

On a alors directement

$$\begin{aligned} \left\| \int \sum w_{i,c} h_c - \frac{1}{n_{i,c}} \sum_l w_{i,c} h_c(\vec{X}_{i,c,l}) \right\| \\ \leq K \sum_c |w_{i,c}| \|h_c\| \cdot D_{i,c} \end{aligned}$$

En supposant l'erreur réalisée et les indicateurs normés, il est alors raisonnable de comparer les termes d'erreurs entre différentes évaluations, ceux-ci ne dépendant alors que de la distribution des données (robustesse statistique), des indicateurs en jeu (robustesse structurelle) et des pondérations. On définit alors un ratio de robustesse pour comparer deux évaluations de deux réalisations du fait urbain

$$R_{i,i'} = \frac{\sum_c w_{i,c} \cdot D_{i,c}}{\sum_c w_{i',c} \cdot D_{i',c}}$$

En définissant une relation d'ordre sur les réalisations par rapport à la position du ratio à 1, on définit un ordre complet sur les évaluations. Ainsi, ce ratio devrait nous permettre en théorie de comparer de nombreuses réalisations d'éco-quartiers en terme de robustesse de la qualification. Comme nous avons une étude de cas à deux éléments, il est pertinent de comparer entre eux des sous-systèmes associés à certains indicateurs seulement : si le ratio ne varie pas en enlevant certains indicateurs d'un côté ou de l'autre, ceux-ci ont peu de chance d'être significatifs. Au contraire, si on extrait une batterie d'indicateurs de taille minimale changeant pour chaque fortement le ratio de robustesse, on devrait avoir isolé des paramètres essentiels sous-jacent au système urbain.

## 4.2 Implémentation

**Collecte, standardisation et inférence des données** La première étape cruciale pour l'implémentation concrète est la collecte et la standardisation des données représentant les faits urbains. On s'est rapidement heurté à de nombreux obstacles du fait que la plupart des indicateurs calculés étaient obtenus via des sources externes présentant leur résultat de manière agrégée, ne permettant pas de redescendre à la granularité minimale de donnée ayant permis le calcul (ou bien dans certains cas n'étaient même pas basé sur des données, comme certaines prévisions du plan pour Sycomore qui doit encore être construit). On a pu pour certains indicateurs les avoirs tout de même, les différentes sources étant OpenStreetMap pour le réseau routier et les bâtiments, l'EGT pour les déplacements, l'INSEE pour la population.

Dans de nombreux cas, des données étaient manquantes à granularité fine : par exemple, pour le réseau routier, il était facile d'obtenir les coordonnées des segments de route mais pas un attribut les qualifiant (ex site propre ou non, largeur de trottoir). On a donc inféré les attributs manquants par distribution statistique raisonnable (proportion totale de route en site propre correspondant à l'indicateur, attribuée aléatoirement aux segments), afin d'être capable de mener à bien l'évaluation. Ces inférences ne devraient modifier le résultat final, puisque l'ajout d'un nuage de point augmente la discrédance d'une égale constante pour les deux quartiers.

Enfin, on a projeté chaque indicateur pour lequel on était en mesure d'associer des données (une dizaine) dans un espace de même dimension physique, celui du gain monétaire par déplacement. Grossièrement, chaque indicateur peut être ramené à une proportion de report modal VP vers modes propres, qu'on traduit en gain d'émission de CO<sub>2</sub>, ramené en valeur monétaire par le coût de la tonne de carbone (47€/T) et la distance moyenne d'un déplacement.

**Implémentation** Les données GIS ont été traitées par QGIS et NL afin d'être standardisées. Les calculs statistiques ont été implémentés sous R, profitant du package DiceDesign [5] permettant de calculer directement la discrédance d'un nuage de points.

**Résultats** Le ratio de robustesse Descartes/Sycomore, calculé avec tous les indicateurs, est  $R_{D,B} = 0,87$ . Cela signifie que l'évaluation sur Sycomore est plus robuste, mais il est difficile de conclure quantitativement car on ne dispose pas d'échelle pour ce ratio. On s'attendait toutefois à ce résultat car les données correspondant à Sycomore sont un peu plus



fournies.

Les tests de sensibilité à différentes combinaisons des indicateurs montraient un comportement anarchique ( $R$  de 0.3 à 1.6 de manière apparemment aléatoire) et il est difficile de tirer des conclusions telles une dimension minimale de caractérisation. Il est difficile de savoir si ce comportement est spécifique à ces cas ou si le modèle est réellement chaotique (ce qui est possible vu la dépendance directe à des données complexes).

Une direction de recherche possible après une précision, validation et confortation de la méthode au delà des premiers résultats obtenus serait l'utilisation de l'évaluation de la robustesse pour comparer différents jeux d'indicateurs et s'orienter vers une scénarisation : en choisissant de favoriser tel aspect, on peut alors voir l'impact sur la performance globale de l'écoquartier en terme de distance au "standard" (représentée par la robustesse).

**Critique** Le manque de recul sur la méthode ne permet pas de dire son potentiel ou tirer des conclusions efficaces. Il faudrait après cette première implémentation revenir sur la théorie et adapter en fonction (données d'entrée multi-échelle, ou bien focus sur 2 quartiers seulement et non un plus grand nombre ?).

## 5 Scénarisation

### 5.1 Hypothèses

Cette phase de scénarisation a pour but de voir dans quelle mesure la mise en place d'une politique volontariste allant dans le sens du développement durable se concrétise dans notre grille d'indicateurs. Il s'agit ainsi de voir les effets tangibles de telles décisions, afin de juger si in fine leur impact environnemental et social justifie leur coût. Deux études seront ainsi menées, une par quartier, et portant sur deux points centraux du sujet des écoquartiers, à savoir la forme et la mobilité urbaine.

### 5.2 Résultats

En ce qui concerne la Cité Descartes, on peut par exemple décider de s'intéresser à un indicateur en particulier, qui a des répercussions assez larges sur nombre d'autres, et voir en quoi son amélioration

peut modifier la bilan de mobilité et le rapprocher de celui d'un écoquartier planifié. Prenons donc la densité d'activité humaine, ou densité humaine nette, qui décrit de façon assez satisfaisante l'intensité d'occupation humaine des espaces urbanisés, et qui permet de comparer des tissus urbains différents, la forme urbaine jouant fortement sur la mobilité. En comparant le DAH de la Cité Descartes et de Sycomore et en faisant une hypothèse sur une augmentation de celui-ci dans le premier quartier, on peut évaluer l'impact de celle-ci sur nos autres indicateurs et estimer les variations induites, impactant de ce fait le bilan de mobilité. Cependant, cette démarche doit éviter l'écueil consistant à trop faire parler les résultats, induisant de ce fait des problèmes de cooccurrence.

Pour le quartier Sycomore, un projet de BHNS, porté par la mairie et qui a pour but de traverser d'est en ouest le futur écoquartier, a retenu notre attention. Sur la base de la projection la moins coûteuse suggérée dans le schéma de liaisons douces de la commune, nous avons pu estimer les coûts d'aménagement de cette infrastructure (élargissement des voies, système de détection et de priorité aux feux, ...). En parallèle, nous avons établi deux scénarios décrivant les pratiques de déplacements des habitants de l'écoquartier pour se rendre à Paris, un scénario avec et l'autre sans le BHNS. Pour chacun de ces scénarios une estimation sur les parts modales ainsi que sur des critères tels que le temps d'accès au RER ont été réalisés. Tout ceci permet de mesurer l'impact structurant du BHNS sur le futur quartier.

## Conclusion

Les écoquartiers sont un sujet dont on parle beaucoup de nos jours car ils se veulent la concrétisation de multiples réflexions autour du développement durable. Pourtant, force est de constater que leur conception se limite encore trop souvent à des évolutions technologiques, notamment sur le choix des matériaux mis en oeuvre, alors que c'est d'une véritable révolution des usages dont il devrait être question. Notre étude a l'ambition d'apporter un regard critique sur la prise en compte de la mobilité dans les projets d'écoquartier, et de proposer un nouveau référentiel d'évaluation, si possible robuste, à même de capter la complexité des usages de mobilité.

## Références

- [1] *Des indicateurs de développement durable pour l'évaluation des projets de renouvellement urbain : Le modèle INDIRU-2005*. Editions La Calade, mars 2005.
- [2] *Articuler urbanisme et transport pour favoriser l'écomobilité*. Thierno Aw, juin 2013.
- [3] *Les écoquartiers : laboratoires de la ville durable*. Yves Bonard and Laurent Matthey, 2014.
- [4] ARENE Ile de France. Quartiers durables - guide d'expériences européennes. Technical report, IMBE, avril 2005.
- [5] Jessica Franco, Delphine Dupuy, Olivier Roustant, and Astrid Jourdan. Dicedesign-package. *Designs of Computer Experiments*, page 2, 2009.
- [6] DRIEA IdF. *Méthodologie de calcul des indicateurs*, 2005.
- [7] Anne Jégou, Cédissia About de Chastenet, Vincent Augiseau, Cécile Guyot, Cécile Judéaux, François-Xavier Monaco, and Pierre Pech. L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable? *Cybergeo : European Journal of Geography (En ligne)*, 625, décembre 2012.
- [8] Yves Jouffe. Efficacité énergétique des écoquartiers : Un état de l'art sur la consommation énergétique des ménages dans le logement et dans la mobilité quotidienne et sur les leviers d'action locale. Technical report, Labex Futurs Urbains - EPAMARNE, octobre 2013.
- [9] David Mangin and Philippe Panerai. *Projet urbain*. Parenthèses, 1999.
- [10] H Niederreiter. Discrepancy and convex programming. *Annali di matematica pura ed applicata*, 93(1) :89–97, 1972.
- [11] Yamina Saheb. Analyse critique des quartiers durables. Technical report, La Fabrique de la Cité, 2008.
- [12] Taoufik Souami. *Ecoquartiers : secrets de fabrication*. Scrineo, 2012.
- [13] Suzanne Varet. *Développement de méthodes statistiques pour la prédiction d'un gabarit de signature infrarouge*. PhD thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2010.
- [14] Jiang-Jiang Wang, You-Yin Jing, Chun-Fa Zhang, and Jun-Hong Zhao. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9) :2263–2278, 2009.