



# **QUARTIERS DURABLES EN MILIEU URBAIN TROPICAL**

Recherche menée pour le PUCA

Programme : ***Incidence des formes urbaines et des dynamiques  
d'agglomération sur les émissions de gaz à effet de serre et  
l'efficacité énergétique liée aux bâtiments***

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable  
et de l'Aménagement du Territoire

Programme 190 BOP 190 RIC – Unité Opérationnelle 91307501

**Michel Dimou, François Garde, Alexandra Schaffar**

**avec la participation de Fiona Bénard et Lise Savidan**

Laboratoire Physique et Ingénierie Mathématique pour l'Energie et l'Environnement

**Août 2010**

# SOMMAIRE

---

<b>Sommaire .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>4</b>
<i>Bref historique du débat sur l'urbanisme durable.....</i>	5
<i>Rappel des objectifs de recherche .....</i>	6
<i>Le terrain d'étude .....</i>	8
<b>PARTIE I : UN GUIDE D'ÉVALUATION DU QUARTIER DURABLE EN MILIEU URBAIN TROPICAL 13</b>	
<i>I.1 Définition d'une grille d'Indicateurs de développement durable urbain .....</i>	13
Objectifs et démarche de structuration de la grille d'évaluation .....	13
<i>I.2 Structuration de la grille et Indicateurs retenus .....</i>	16
<b>I.2.1 AXE 1 : L'adaptation de l'espace urbain vis-à-vis des conditions environnementales du site .....</b>	<b>16</b>
1.A Objectif: adapter l'espace urbain aux conditions climatiques locales .....	17
1.B OBJECTIF: prendre en compte le contexte géomorphologique initial dans les aménagements ....	20
<b>I.2.2 AXE 2 : l'impact du quartier sur l'environnement .....</b>	<b>20</b>
2.A OBJECTIF: diminuer l'utilisation des ressources - favoriser la récupération et la production de ressources .....	20
2.B OBJECTIF: créer une écologie urbaine .....	22
<b>I.2.3 AXE 3 : l'organisation de l'espace urbain et la qualité de vie qui en ressort. ....</b>	<b>23</b>
3.A OBJECTIF: favoriser des déplacements durables .....	23
3.B OBJECTIF: organiser l'espace urbain de manière durable.....	24
<b>I.2.4 Méthodologie de notation.....</b>	<b>25</b>
Notation de chaque indicateur .....	25
Notation globale du quartier.....	25
<i>I.3 Application de la grille d'évaluation sur le quartier de la Ravine Blanche.....</i>	27
<b>I.3.1 Déroulement de l'évaluation : une comparaison avant et après les opérations de rénovation urbaine .....</b>	<b>27</b>
<b>I.3.2 Résultats d'évaluation du quartier.....</b>	<b>28</b>
Commentaires relatifs à l'axe 1 : Evaluer l'adaptation de l'espace urbain à l'environnement local .....	29
Commentaires relatifs à l'axe 2 : Evaluer l'impact de l'espace urbain sur l'environnement.....	30
Commentaires relatifs à l'axe 3 : Evaluer l'organisation de l'espace urbain et la qualité de vie des habitants.....	30
Conclusion de l'analyse .....	31

I.4.	<i>Un exemple de proposition de modification du PLU en intégrant des règles de conception urbaines durables.....</i>	32
I.4.1	<b>Description générale de la zone U1 du PLU de St Pierre.....</b>	<b>32</b>
I.4.2	<b>Intégration des préconisations du développement durable dans chaque disposition réglementaire.....</b>	<b>33</b>
I.5	<i>Conclusion.....</i>	40
<b>PARTIE II : éléments spécifiques des projets d'urbanisme durable en milieu tropical .....</b>		<b>41</b>
II.1	<i>Evaluation du confort thermique en milieu urbain tropical.....</i>	42
II.1.1	Méthodologie .....	42
II.1.2	Résultats .....	46
	Comparaison dynamique entre le milieu minéralisé et semi-minéralisé :.....	46
	Comparaison dynamique entre le milieu semi-minéralisé et végétalisé .....	46
	Confort thermique dans les logements non-traversant et traversant .....	47
II.1.3	Points à retenir .....	49
	Impact sur certains indicateurs en matière des quartiers durables en milieu tropical.....	49
II.2	<i>Calcul des émissions de gaz liées aux déplacements intra-quartier .....</i>	53
II.2.1	Introduction.....	53
II.2.2	Méthodologie .....	53
	Les différentes approches .....	53
	Les différents modèles .....	54
	Les différentes variables .....	55
II.2.3	<b>Construction du modèle .....</b>	<b>57</b>
II.2.4	<b>Résultats.....</b>	<b>59</b>
	Estimation des émissions de CO <sub>2</sub> .....	59
II.3	<i>Etude de la sensibilité écologique des ménages : Y a-t-il un effet « quartier » ?.....</i>	61
II.3.1	<b>Méthodologie.....</b>	<b>61</b>
	Le questionnaire.....	61
	L'échantillonnage .....	63
	Evaluation de la « sensibilité à l'environnement » .....	64
II.3.2	<b>Résultats : le quartier d'appartenance joue un rôle déterminant .....</b>	<b>66</b>
	Sensibilité écologique des habitants par quartier : les tests ANOVA.....	66
	Lien entre la note écologique et les études, le revenu et le lieu d'habitation .....	68
	Auto-corrélation spatiale : la « centralité de la sensibilité écologique» .....	71
II.3.3	<b>Conclusion .....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>74</b>

## INTRODUCTION GENERALE

---

Ce rapport présente les résultats des recherches engagées dans le projet « Quartiers Durables en Milieu Urbain Tropical ». Ce projet s'insère dans le programme « Incidence des formes urbaines et des dynamiques d'agglomération sur les émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique liée aux bâtiments », financé et coordonné par le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA) et mené sous l'égide du PREBAT.

Ce projet a été engagé en 2009-2010 par une équipe du laboratoire de Physique et Ingénierie Mathématique appliquée à l'Energie et l'Environnement (PIMENT) de l'Université de La Réunion, composée de :

- Michel DIMOU, Professeur en Urbanisme, [dimou@univ-reunion.fr](mailto:dimou@univ-reunion.fr)
- François GARDE, Professeur en Génie Civil, [garde@univ-reunion.fr](mailto:garde@univ-reunion.fr)
- Alexandra SCHAFFAR, MCF en Urbanisme, [schaffar@univ-reunion.fr](mailto:schaffar@univ-reunion.fr)
- Lise SAVIDAN, doctorante en Urbanisme, [lise.savidan@gmail.com](mailto:lise.savidan@gmail.com)
- Fiona BENARD, doctorante en Urbanisme, [fiona.benard@gmail.com](mailto:fiona.benard@gmail.com)

Quatre étudiants du Master Génie Urbain et Environnement de l'Université de La Réunion ont activement participé aux recherches sur le terrain :

- Fabien GARDENAT, [fabien.gardenat@hotmail.com](mailto:fabien.gardenat@hotmail.com)
- Pierre RIVIERE, [riviere.pierre-alexandre@hotmail.fr](mailto:riviere.pierre-alexandre@hotmail.fr)
- Loïc LUCILLY, [loiclucilly@hotmail.fr](mailto:loiclucilly@hotmail.fr)
- David PLANESSE, [david.dimitri@hotmail.com](mailto:david.dimitri@hotmail.com)

Enfin, diverses collaborations ont été menées avec des membres du Laboratoire d'Ecologie Urbaine (LEU Réunion), Antoine Perrau, Michel Reynaud, Arnaud Jamet, avec les porteurs du projet de rénovation urbaine du quartier de la Ravine Blanche à Saint Pierre de la Réunion, ainsi qu'avec plusieurs acteurs locaux du développement durable.

## Bref historique du débat sur l'urbanisme durable

En Europe, la notion de ville durable trouve ses prémices lors de la prise de conscience mondiale du besoin de préserver l'environnement, durant la conférence de Stockholm en 1972. L'application du développement durable à l'urbanisme est concrètement portée par le « Livre vert sur l'environnement urbain » en 1990 qui remet en cause l'urbanisme moderne et notamment ses piliers, le fonctionnalisme et l'hygiénisme.

La ville européenne, construite et développée à partir des principes de la charte d'Athènes avait, jusque-là, prôné un idéal type urbain qui, avec le recul, révèle de nombreux effets négatifs :

- les fonctions économiques sont spatialement séparées ce qui conduit à une augmentation du nombre des déplacements ;
- les sols sont majoritairement imperméabilisés ce qui résulte à une éviction de l'élément « eau » de l'espace urbain ;
- enfin, l'étalement urbain fait reculer les espaces naturels des centres-villes de plus en plus pollués.

Les conséquences de ces choix conduisent à un changement du rôle des centres-villes qui deviennent dédiés aux bureaux et sont désertés par leurs habitants à la recherche d'espaces plus près de la nature et loin des nuisances urbaines. La ville moderne actuelle ne correspond plus ni aux exigences de qualité de vie des citoyens, ni aux exigences mondiales de limitation des émissions de gaz à effet de serre.

A partir de la prise de conscience des effets négatifs engendrés par les « logiques » urbaines existantes, des événements tels que la conférence de Rio en 1992 vont permettre de sensibiliser et de responsabiliser les Etats et les collectivités locales aux nouveaux impératifs de l'urbanisme durable. A l'échelle européenne, des experts cherchent alors à « penser » une nouvelle manière de concevoir les projets d'urbanisation. Leurs travaux sont véhiculés par le biais d'une campagne de conférences sur les villes durables européennes qui, à partir de 1994, permettent de faire évoluer, d'échanger et de confronter les réflexions sur le sujet.

Les projets ponctuels d'urbanisme durable voient le jour initialement en Europe du Nord. Les principes défendus par ces projets sont essentiellement la diminution de la consommation des ressources locales, la recherche de compacité urbaine et de densité, la favorisation des déplacements doux et des transports en commun, la création d'écologies urbaines, la recherche de mixité sociale et fonctionnelle... Limités au fil du temps, ces quartiers passent du statut de « prototypes » à celui de quartiers « types ». On note, alors, progressivement une double évolution :

- d'une part, une diffusion lente mais décisive des projets d'urbanisme durable du Nord vers le Sud, ce qui implique une prise en compte des différences climatologiques ;
- d'autre part, une prise en considération des aspects sociaux et économiques dans les projets du développement durable, complétant les aspects environnementaux.

Ce travail de recherche s'inscrit dans la volonté d'analyser cette double évolution, en étudiant la durabilité écologique et énergétique en milieu urbain tropical. Il convient, plus précisément, de comprendre la façon dont l'urbanisme et l'architecture durables peuvent s'intégrer dans un environnement naturel et social qui pose des contraintes différentes de celles de la plupart des villes « prototypes » européennes.

## Rappel des objectifs de recherche

Ce projet cherche à étudier les processus et les politiques visant la mise en place de quartiers urbains durables en milieu tropical, c'est à dire de quartiers dont l'efficacité énergétique se combine avec une efficacité économique. Il s'articule autour de deux axes.

Le premier axe propose la mise en place d'une grille d'évaluation des quartiers durables tropicaux. Cette grille est censée permettre l'évaluation de l'efficacité énergétique des unités urbaines en milieu tropical et l'étude de leur organisation fonctionnelle en vue d'une réduction des émissions de gaz liées aux déplacements. A partir d'un exemple concret, l'application de cette grille d'évaluation conduit à la formulation de propositions de réforme et d'amélioration des politiques locales d'urbanisme.

Cet axe s'inscrit dans la continuité d'une série de travaux déjà existants :

- en premier lieu, l'île de La Réunion est le département d'Outre Mer pilote pour les projets architecturaux et urbanistes visant certaines cibles de Haute Qualité Environnementale, grâce à l'outil PERENE (PERformances ENergétiques des bâtiments à La Réunion). L'outil PERENE donne un certain nombre de règles de conception pour tout type de bâtiment (tertiaire et résidentiel) pour les quatre zones climatiques de La Réunion qui ont été élaborées dans le cadre de ce programme. Ces règles portent sur la conception des bâtiments (protection solaire, végétalisation périphérique, ventilation traversante, isolation) et sur l'efficacité énergétique des systèmes (climatisation éclairage, chauffage, eau chaude). En l'absence de réglementation thermique à La Réunion, PERENE fait office d'outil de référence dans tous les projets de construction et tend à devenir le niveau « standard ».
- en second lieu, depuis quelques années, une réflexion menée dans le cadre de certains programmes Région/université, a conduit à définir des politiques de réduction du gaspillage

énergétique lié aux déplacements et à la congestion routière (Dimou, 2007). Cette réflexion va de pair avec un ensemble de travaux de grande envergure, entrepris sur le sol réunionnais (Route des Tamarins, Tram-train, croix du sud), caractérisé par la faible présence des transports en commun.

L'étape suivante en matière de performance énergétique, engagée dans ce projet de recherche, se situe à l'échelle du quartier avec la prise en compte de la problématique des formes urbaines en climat tropical. Il est, donc, nécessaire de changer d'échelle spatiale et de développer des indicateurs d'évaluation adaptés à une zone d'habitat et/ou d'activité plus restreinte, afin de pouvoir formuler des conseils techniques aux décideurs locaux, désireux de promouvoir des projets d'urbanisme durable en milieu tropical.

Le travail de terrain pour mener à bien cette analyse s'appuie essentiellement sur l'étude du quartier de la Ravine Blanche de Saint Pierre de La Réunion. Cet espace de 12 000 habitants constitue un quartier ancien, proche du centre-ville, en pleine restructuration à travers une opération de rénovation urbaine en cours.

Les résultats escomptés sont les suivants :

- **La mise en place de règles de conception** portant sur l'agencement des formes urbaines, sur les choix des systèmes énergétiques et sur la fourniture d'énergie à l'échelle du quartier (réseau de froid, utilisation des énergies renouvelables), mais également sur l'organisation des transports et la localisation des équipements publics.
- **La définition d'outils d'évaluation simples** permettant une vérification rapide des exigences sur les aspects énergétiques et environnementaux en termes d'émissions de CO2 évitées, par un organisme compétent (service technique de mairie, Promotelec, etc.).
- **La formulation de propositions concrètes de modifications des PLU** définissant des objectifs et de performances minimales à atteindre pour des quartiers durables en climat tropical, sur le modèle de l'ordonnance de Barcelone 1.

Le second axe de ce projet consiste à développer une analyse plus fine autour de trois thématiques particulières : le confort thermique, les émissions de gaz liés aux déplacements intra-quartier et la sensibilité écologique des habitants au niveau d'un quartier. Ces trois thématiques approfondissent et complètent le travail engagé dans le premier axe et la construction d'une grille d'analyse globale d'évaluation des projets d'urbanisme durable. Elles montrent également certaines limites que ces projets peuvent rencontrer.

- L'objectif de l'étude sur le confort thermique des habitants consiste à évaluer l'impact d'une typologie de formes urbaines sur les températures de l'air et à mesurer l'effet « Ilot de chaleur urbain » en milieu tropical. Ce type de mesure n'a été jamais été mené à La Réunion ou dans les départements d'Outre Mer.

- L'objectif de l'étude des déplacements intra-quartier conduit à s'interroger sur l'optimalité des petits déplacements extrêmement polluants en matière de gaz à effet de serre, mesurés avec le modèle COPERT IV. Dans ce cas également, la prise en compte du climat tropical a conduit à une modification des paramétrages du modèle standard essentiellement conçu pour les pays à climat tempéré.
- Enfin, l'objectif de l'étude sur la sensibilité écologique des habitants d'une ville conduit à s'interroger sur l'existence de regroupements spatiaux d'habitants « écologistes » (par zone ou quartier) et, dans ce cas, déterminer leurs caractéristiques. Plus implicitement, cette troisième étude cherche à déterminer si l'appropriation des exigences environnementales par la population locale peut avoir lieu dans n'importe quel quartier : est-ce que chaque quartier a vocation à devenir un quartier durable ou pas ?

## Le terrain d'étude

Le terrain d'étude sur lequel ce travail s'est fortement appuyé est le quartier de la Ravine Blanche, dans la ville de Saint Pierre, la Capitale du Sud de l'île de La Réunion (carte 1) qui, avec 73,000 habitants, apparaît comme fortement représentative des espaces urbains insulaires et ultrapériphériques, par son histoire, par la mixité de son peuplement et par son mode de développement économique dominé par les services administratifs.

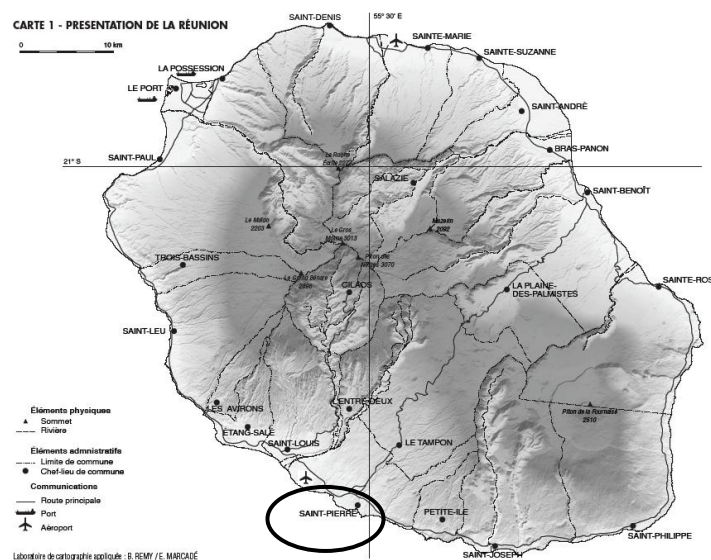


Figure 1 : Saint Pierre de La Réunion

Avec un peu moins de douze mille habitants (11983 habitants) au dernier recensement (2006), la Ravine Blanche est le troisième plus grand quartier de la ville de Saint Pierre, derrière



le Centre Ville et la Ravine des Cabris. Situé à l'Ouest de l'agglomération de Saint-Pierre, sur la façade maritime, le quartier tient son nom de la ravine du même nom qui le borde. Bien qu'attenant au centre historique de la ville, le quartier fonctionne en repli sur lui-même : il s'agit d'un quartier caractérisé par un habitat social important, avec un bâti dominé par de nombreux logements insalubres ou du moins en mauvais état sanitaire et une population assujettie à des difficultés sociales conséquentes (taux de chômage proche de 45% de la population active, de nombreux RMIstes, une forte délinquance, un faible taux de scolarisation, etc.)

Le quartier de la Ravine Blanche a été choisi comme quartier d'étude car il fait l'objet d'un projet de rénovation urbaine dans le cadre de l'ANRU à hauteur de 120 millions d'euros (Commune de Saint Pierre, 2006). Cette rénovation doit agir à la fois sur l'existant à travers une « réhabilitation » de certains bâtiments collectifs, mais comporte également une partie « construction » de nouveaux logements. Par ailleurs, elle est censée conduire à un double processus de « naissance » d'infrastructures, d'une part, et de « restructuration » d'infrastructures arrivées à un stade de vie avancé, d'autre part. Le projet de rénovation urbaine et de réhabilitation de l'habitat insalubre de la Ravine Blanche cherche à intégrer un ensemble de prérogatives en faveur de l'efficacité énergétique et le développement durable qui sont un axe prioritaire de la municipalité. Notre recherche s'inscrit ainsi, dans une démarche impliquée de Recherche-Action, censée conduire à des applications directes dans un projet d'urbanisme durable.

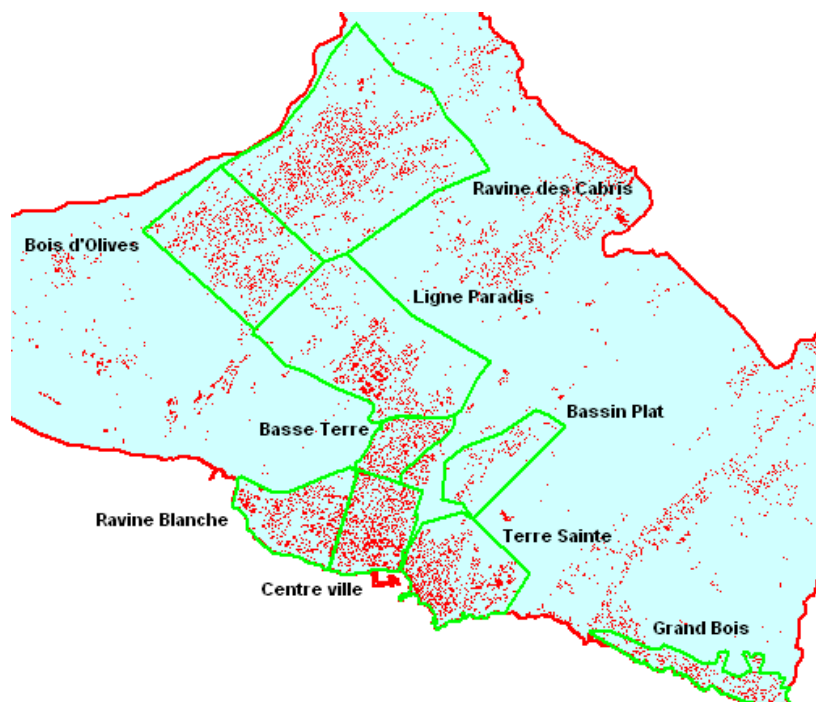


Figure 2 : Les quartiers de la ville de Saint Pierre



Figure 3: Périmètre de la zone d'étude, le quartier de la Ravine Blanche

Le quartier de Ravine Blanche concentre, sur une superficie de 60 ha, plus de 1800 logements sociaux bâtis dans les décennies 1960/1970 (parmi lesquels, la SHLMR gère 330 logements, la SEMADER 297 et la SIDR 1196 logements). Ils accueillent environ 9000 habitants et représentent 75% du parc total des logements du quartier (le reste 25% étant des logements privés). Cette forte concentration de logements sociaux n'a guère favorisé la diversité sociale et a conduit à une certaine « ghettoïsation » du quartier, bien que l'on soit loin des modèles analogues dans les pays Européens. Cette forte concentration d'une population économiquement fragile explique les phénomènes d'exclusion sociale, du fort taux de chômage et de l'insécurité qui caractérisent le quartier.



Figure 4: Le quartier vu de face, illustrant les différentes typologies de logements

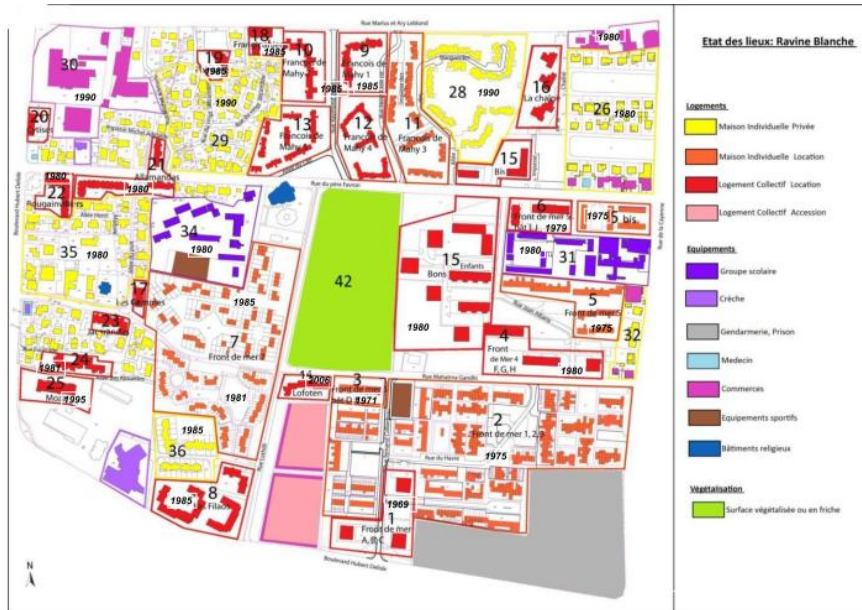


Figure 5: Parc du logement social sur la Ravine Blanche

A la Ravine Blanche, l'appareil commercial comprend 45 commerces et services, parmi lesquels on distingue notamment des micro-entreprises de services de proximité. Seuls 7% des entreprises représentent les secteurs de la culture, des loisirs et de la santé.

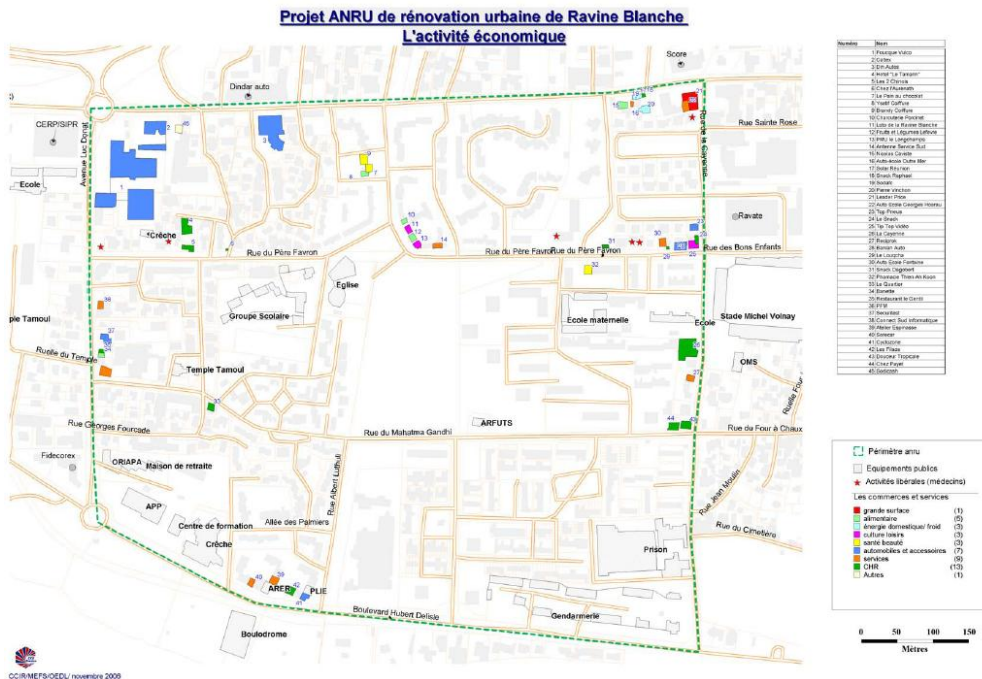


Figure 6: Localisation des activités sur la Ravine Blanche

Le quartier de la Ravine Blanche présente donc un vrai potentiel pour :

- remettre en état le parc locatif ancien et le parc revendu par les bailleurs (procédures d'amélioration pour les ménages éligibles) ;
- requalifier le cadre de vie des habitants par un confort du logement mais aussi par une amélioration de la vie du quartier, l'augmentation des services de proximité et la requalification des équipements publics ;
- développer des déplacements doux, d'autant plus que le quartier reste caractérisé par un faible taux d'équipement automobile des habitants.
- favoriser la mixité sociale, à travers la création de bâtiments nouveaux, d'une part, et la poursuite du programme d'accession à la propriété des ménages à petits revenus, d'autre part.

Le périmètre d'intervention de l'ANRU s'inscrit dans un vaste rectangle incluant la majeure partie du quartier de la Ravine Blanche. Ce périmètre élargi a été retenu pour appréhender le quartier dans son identité et son fonctionnement global, son évolution au fil du temps et les accroches possibles sur les quartiers avoisinants.



Figure 7: Principes du projet de rénovation urbaine

Tous les aménagements proposés par le projet de rénovation urbaine sont censés apporter une vraie « plus-value » au quartier, tout en intégrant des préconisations d'économie d'énergie et l'introduction de la biodiversité dans l'espace urbain.

# PARTIE I : UN GUIDE D'ÉVALUATION DU QUARTIER DURABLE EN MILIEU URBAIN TROPICAL

---

Afin d'étudier l'efficacité énergétique et la « durabilité » des quartiers urbains tropicaux, plusieurs étapes de réflexion ont été nécessaires :

- En premier lieu, il a fallu convenir d'une définition de la durabilité urbaine pour les quartiers des bas de la Réunion et la création d'une liste d'**objectifs de durabilité** à atteindre (Choix de 3 axes).
- Puis, nous avons opéré la transcription de ces règles de conception sous forme d'un listing d'**indicateurs de durabilité**.
- Ces indicateurs de durabilité ont ensuite été **testés** sur le quartier de Ravine Blanche et la grille a pu être réadaptée. Des mesures de températures sur site et des analyses de consommation énergétiques à partir des données EDF ont été menées.
- En fonction des objectifs de durabilité définis précédemment et grâce à « l'expérience acquise » suite à l'observation du quartier de la Ravine Blanche sous l'angle de la durabilité, des **propositions de modifications de PLU et de règles de conception urbaines durables** ont été formulées.

## I.1 Définition d'une grille d'Indicateurs de développement durable urbain

### *Objectifs et démarche de structuration de la grille d'évaluation*

La mise en place d'une grille d'indicateurs permet de diagnostiquer la durabilité de quartiers dans les zones chaudes de la Réunion. Cette grille concerne les « bas » de l'île de La Réunion, correspondant aux zones 1 et 2 selon les prescriptions PERENE, à savoir les espaces qui se situent à une altitude inférieure à 400 mètres et bénéficient d'un ensoleillement élevé (de 6 à 8h/jour).

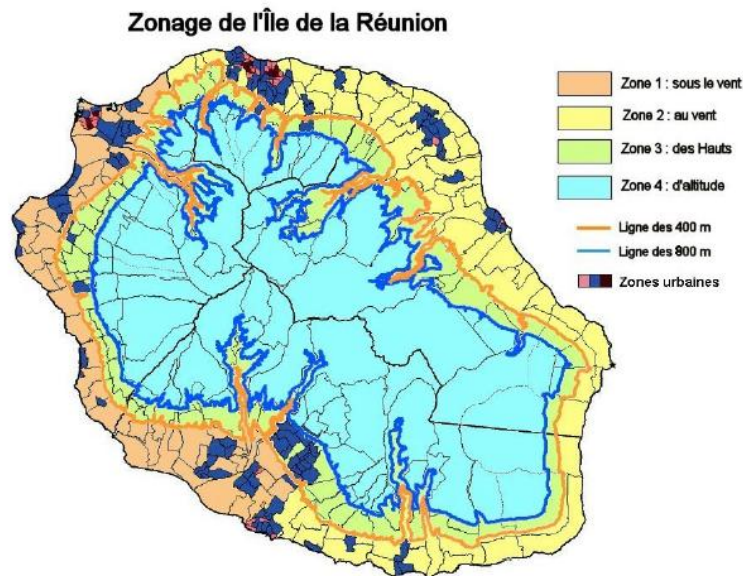


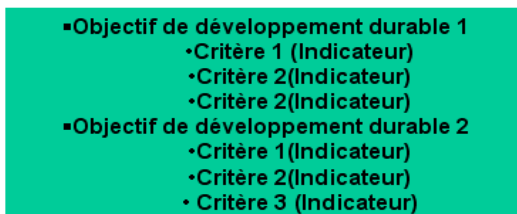
Figure 8 : Zonage climatique et pluviométrique de l'île de La Réunion (Garde, 2009)

Notons, dans un premier temps, que dans la littérature scientifique relative à ce sujet, plusieurs grilles de développement durable coexistent : Adequa (Cherqui, 2005), RSTO2 (CERTU, 2006), HQE<sup>2</sup>R (CSTB, 2010). La mise en place de ces grilles témoigne de l'absence d'une quelconque réelle coordination sur ce sujet.

- Ces grilles présentent des appellations différentes : Systèmes d'Indicateurs de Développement Durable, Outils de Questionnement et d'Analyse vis-à-vis du Développement Durable (O.Q.A.D.D.).
- Elles sont mises en place par des acteurs divers : acteurs publics, associations, bureaux d'études, etc.
- De nombreux territoires se façonnent eux même leur propre grille : Guide méthodologique de Lille (2005), de Grenoble (2006).

Les « objectifs » des grilles existantes influent sur la forme technique qu'elles épousent :

- Les objectifs des grilles varient entre l'évaluation, l'analyse, la mise en place de projets ou de politiques spécifiques, le listing de conseils. Les grilles peuvent donc être utilisées, à la fois, dans la phase *Etude*, *Construction* ou *Diagnostic* d'un projet urbain.
- Plusieurs modes de présentation des grilles sont observées : fiches thématiques ; méthodes d'évaluation ; questionnaires en ligne. La structuration la plus fréquente est sous forme d'arborescence.



- Lorsqu’il s’agit d’informations concernant les indicateurs de développement durable, certaines thématiques récurrentes sont abordées : énergie, déchets, eau, air, risques naturels, biodiversité, confort thermique et acoustique, santé, déplacements, occupation du sol, patrimoine bâti, mixité fonctionnelle...). Pour chaque thématique, les indicateurs utilisés sont très nombreux et varient selon la sensibilité du concepteur de la grille.

Dans ce « paysage » à la fois très riche et peu structuré, il fallait construire notre propre grille qui tout en tenant compte des réflexions déjà menées, devait s’adapter au contexte particulier des zones tropicales. Trois facteurs ont joué un rôle primordial dans la construction de la grille d’indicateurs :

- l’adaptation en zone tropicale et plus particulièrement au territoire réunionnais, susceptible d’être appliquée à d’autres DOM ou TOM (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Mayotte, Nouvelle Calédonie...);
- l’intégration des problématiques de « construction en milieu tropical sans climatisation » ; sujet de recherche développé depuis une vingtaine d’années par le Laboratoire de Physique et Ingénierie Mathématique sur l’Energie et l’Environnement (PIMENT et ex-LPBS) de l’Université de La Réunion.
- la prise en compte d’un habitat social important et d’une population économiquement défavorisée, d’où l’apparition de nombreux problèmes sociaux à l’échelle du quartier, tels que le chômage et la délinquance.

Nous avons utilisé la méthodologie suivante pour la création de la grille :

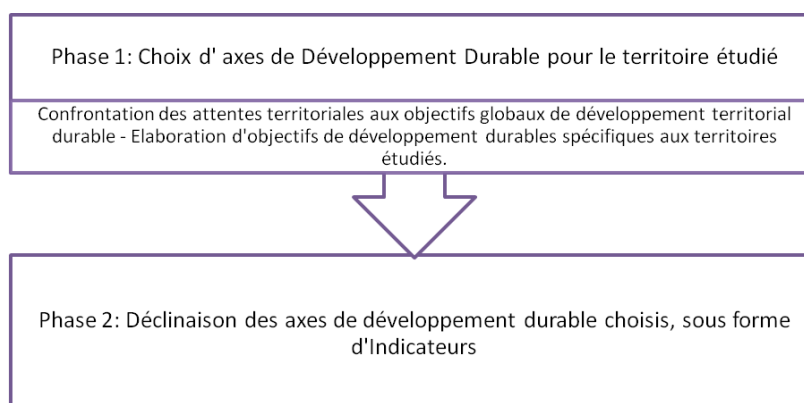


Figure 9: Méthodologie globale pour la création de la grille d'indicateurs

## I.2 Structuration de la grille et Indicateurs retenus

La conception de la grille d'indicateurs se structure en 3 « Axes » majeurs :

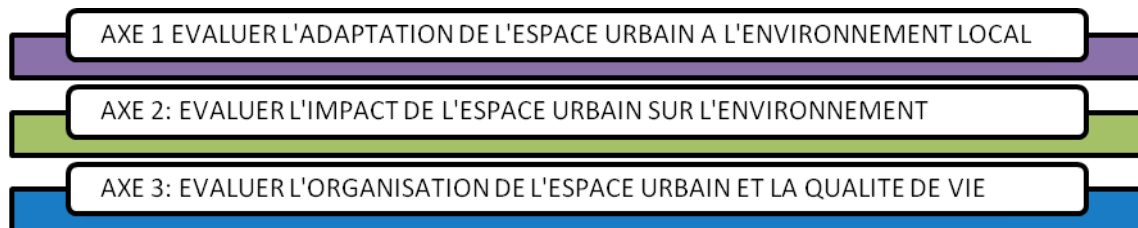


Figure 10: Les trois axes d'évaluation des quartiers choisis

Les axes sont chacun subdivisés en deux « Objectifs » (6 au total) qui sont, à leur tour, subdivisés en plusieurs « Stratégies » pour atteindre les objectifs détaillés (13 au total). Les « Stratégies » énumèrent un certain nombre d'indicateurs pour évaluer les objectifs recherchés.

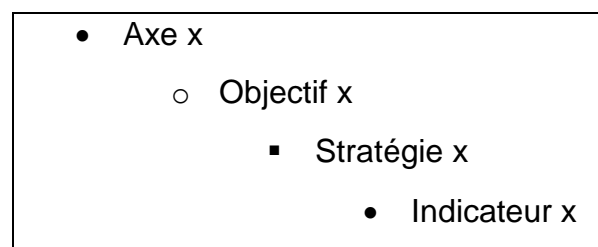
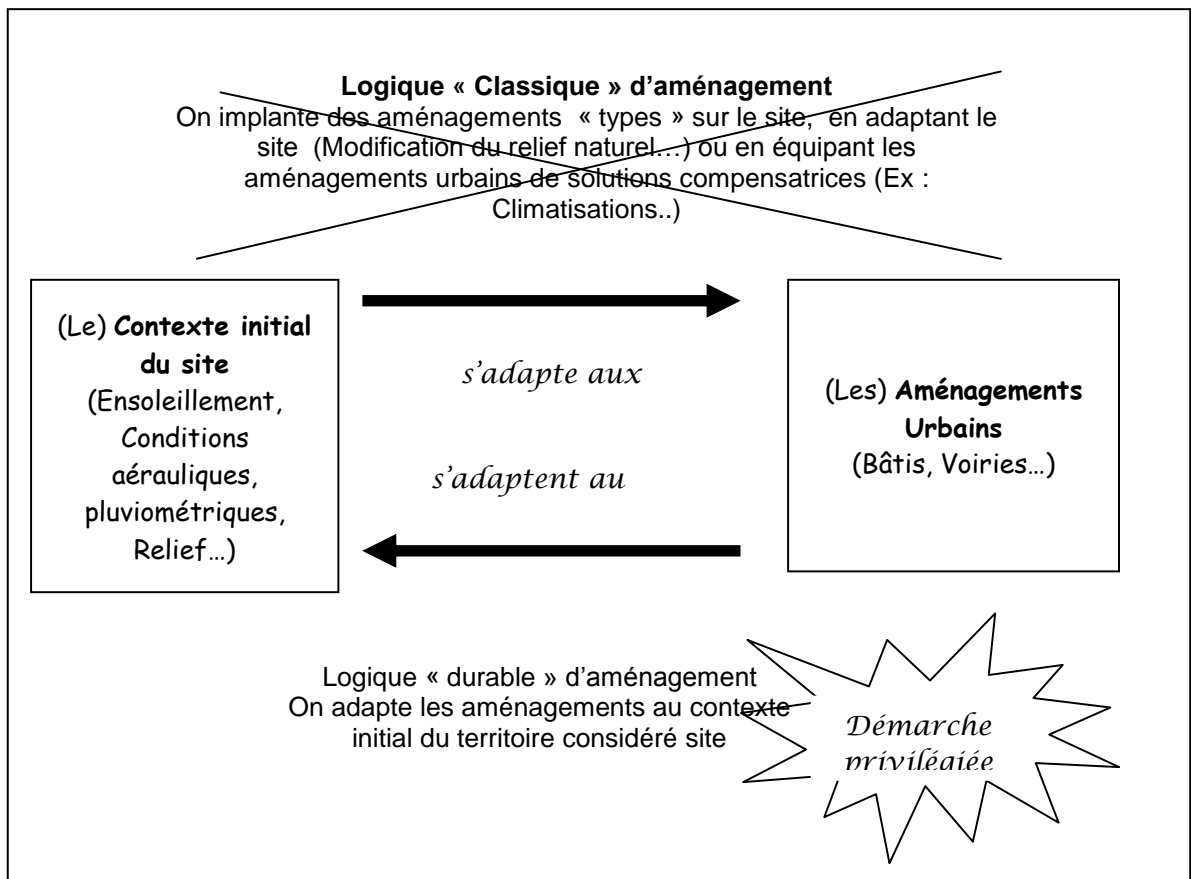


Figure 11 : Principe de structuration de la grille d'indicateurs

### I.2.1 AXE 1 : L'adaptation de l'espace urbain vis-à-vis des conditions environnementales du site

La caractéristique principale de notre grille d'indicateurs est son adaptation à un territoire soumis à un climat tropical chaud et humide. Les seuls critères de confort et de satisfaction des besoins en infrastructures ne sont pas suffisants pour penser une politique d'aménagement du territoire et de planification du bâti en termes de durabilité. Il est indispensable de considérer le contexte climatologique et géomorphologique du territoire. Ceci implique d'épouser une logique d'adaptation des aménagements au contexte environnemental et non pas une logique de correction des effets néfastes et secondaires sur l'environnement d'une politique d'aménagement fonctionnaliste.





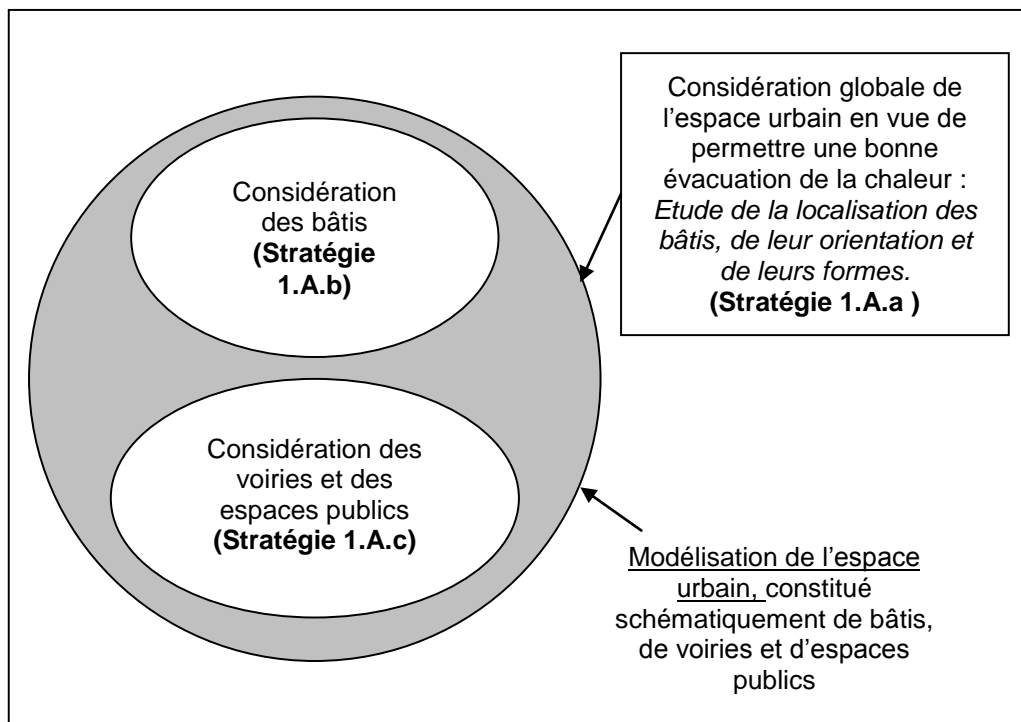
*Figure 12 : Adapter les aménagements au milieu ou modifier le milieu pour qu'il s'adapte aux aménagements?*

Il est important que le premier axe soit dédié à cette vision de l'aménagement. Deux objectifs ont été considérés : l'adaptation de l'espace urbain aux conditions climatiques locales (objectif 1.A); la prise en compte du caractère géomorphologique initial dans les aménagements (objectif 2.A).

### **1.A Objectif: adapter l'espace urbain aux conditions climatiques locales**

En vue de diminuer les consommations énergétiques dans un quartier, il est préférable de créer des aménagements permettant l'obtention d'un confort thermique optimal en fonction de l'environnement naturel. L'objectif est d'éviter les aménagements mal-conçus vis-à-vis du climat local, entraînant de l'inconfort thermique et nécessitant le recours ex-post à des solutions énergivores de compensation thermique (exemple : climatisations). L'objectif 1.A est, donc, de « **créer un espace urbain confortable thermiquement dans son fonctionnement naturel et éviter le recours à des solutions de compensations thermiques** ».

La stratégie globale mise en place en vue d'atteindre l'objectif d'adaptation de l'espace urbain vis-à-vis des conditions climatiques locales est synthétisée dans le schéma suivant :



*Figure 13 : Stratégie d'évaluation de l'adaptation de l'espace urbain vis-à-vis des conditions climatiques (Objectif 1.A) : Les stratégies mises en œuvre dans l'objectif 1.A permettent à la fois une évaluation globale du territoire et une évaluation plus fine au niveau des bâtis, des voiries et des espaces publics*

### **1.A.a Stratégie: favoriser la ventilation naturelle dans l'espace urbain**

L'espace urbain est considéré dans son intégralité afin de réfléchir globalement aux formes urbaines et à sa capacité d'évacuer les chaleurs accumulées. Il convient de rappeler que la chaleur accumulée dans l'espace urbain est issue de deux facteurs principaux : les sources anthropiques et l'accumulation de chaleur par les matériaux minéraux. Deux indicateurs sont pertinents :

- Indicateur 1 : le niveau de porosité urbaine.
- Indicateur 2 : le niveau de réflexion thermo-aéraulique.

### **1.A.b Stratégie: créer des bâtiments adaptés au climat tropical**

Après avoir déterminé, dans la stratégie précédente, une localisation et une orientation optimale des bâtis afin de favoriser l'évacuation de la chaleur dans l'espace urbain, il est nécessaire de considérer la performance thermique de chaque bâtiment. La stratégie 1.A.b consiste à étudier l'adaptation climatique à une échelle plus fine, celle des bâtis.

Les thématiques reprises dans chaque indicateur reprennent globalement les préconisations PERENE 2009 :

- en prenant en compte l'environnement immédiat du bâtiment et sa capacité à absorber ou non la chaleur (indicateur 3) ;
- en considérant l'enveloppe du bâtiment et sa capacité à limiter l'entrée de chaleur à l'intérieur (indicateurs 4,5, 6) ;
- en considérant la capacité du bâtiment à évacuer la chaleur accumulée à l'intérieur du bâti ainsi que la capacité à créer des mouvements d'air à l'intérieur des bâtis, en améliorant la sensation de confort pour les usagers.

Les indicateurs utilisés sont les suivants :

- Indicateur 3 : environnement végétal des bâtiments.
- Indicateur 4 : protection solaire des toitures.
- Indicateur 5 : protection solaire des vitrages.
- Indicateur 6 : protection solaire des façades.
- Indicateur 7 : caractère traversant des logements.
- Indicateur 8 : porosité des logements (traversant).

### **1.A.c Stratégie: limiter le rayonnement solaire direct sur l'espace urbain**

Cette stratégie permet d'évaluer les conditions de confort thermique des voiries et des espaces publics extérieurs, à savoir la capacité de l'espace urbain à fournir de l'ombre à ses usagers (Indicateurs 9 et 10) ainsi que la capacité de l'espace public à accumuler le moins de chaleur (Etude des matériaux urbains, Indicateur 11). Les indicateurs sont :

- Indicateur 9 : protection solaire des espaces de passage.
- Indicateur 10 : protection solaire des espaces d'attente.
- Indicateur 11 : nature des matériaux urbains.

## **1.B OBJECTIF: prendre en compte le contexte géomorphologique initial dans les aménagements**

Les aménagements urbains doivent se faire d'une manière souple et peu « impactante » sur le site. L'imperméabilisation des surfaces, la modification du cheminement naturel des eaux pluviales due à l'urbanisation entraînent des impacts néfastes, notamment l'augmentation de l'écoulement des eaux et des risques d'inondation... Cet objectif consiste à évaluer la capacité du quartier à réguler au maximum les impacts négatifs de l'urbanisation sur le contexte géomorphologique du site. Nous nous sommes principalement intéressés au fonctionnement hydrologique à travers la maximisation des surfaces perméables dans le quartier (Indicateur 12) et à travers la temporisation de l'infiltration des eaux pluviales (Indicateur 13).

Nous n'avons pas considéré, dans notre grille, l'adaptation de l'architecture au relief ou l'adaptation à la nature du sol :

- Indicateur 12 : volume de perméabilité des sols.
- Indicateur 13 : présence d'espaces de rétention des eaux.

## **1.2.2 AXE 2 : l'impact du quartier sur l'environnement**

L'urbanisation d'un site engendre automatiquement des perturbations à l'échelle globale (Utilisation de ressources naturelles, Pollutions), et à l'échelle locale (Modification environnementale du site). Les objectifs de cet axe sont la limitation de l'utilisation de ressources naturelles et la récupération de ressources utilisées (Objectif 2.A). Cet axe élabore également les stratégies permettant la reconquête de l'élément naturel dans l'espace urbain (Objectif 2.B).

## **2.A OBJECTIF: diminuer l'utilisation des ressources - favoriser la récupération et la production de ressources**

L'espace urbain, considéré comme un écosystème, est traversé par des flux de ressources : des entrants (Ressources naturelles) et des sortants (Ressources consommées ou usées). Les enjeux en termes de durabilité urbaine sont trois : limiter la consommation de ressources de l'espace urbain ; limiter les impacts négatifs des sortants sur l'environnement ; favoriser au maximum la réinjection des sortants dans l'espace urbain après traitement.

Les indicateurs évaluent les moyens mis en œuvre pour poursuivre ces enjeux.

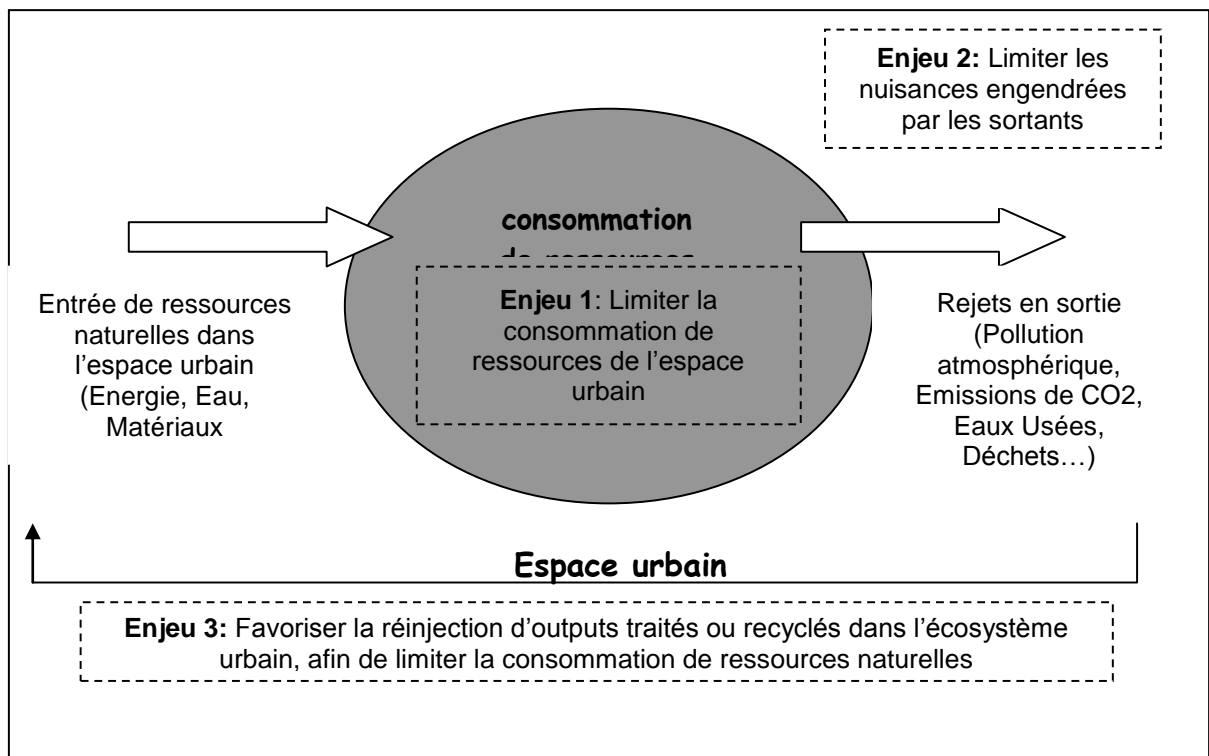


Figure 14 : Modélisation du cycle de consommation de ressources de l'espace urbain + Mise en évidence des enjeux de durabilité.

Cet objectif se décline en 4 stratégies avec 11 indicateurs :

### 2.A.a Stratégie: diminuer la consommation d'énergie

- Indicateur 14 : équipement en chauffe-eau solaires.
- Indicateur 15 : consommation énergétique des bâtiments.
- Indicateur 16 : solutions éco-énergétiques urbaines.
- Indicateur 17 : fiabilité des modes de production d'E.N.R.
- Indicateur 18 : quantification de la production en E.N.R.

### 2.A.b Stratégie: diminuer la consommation d'eau

- Indicateur 19: solutions hydro-économiques.
- Indicateur 20 : récupération des eaux pluviales.
- Indicateur 21 : gestion des eaux usées.

### 2.A.c Stratégie: limiter l'utilisation de matériaux et de déchets

- Indicateur 22 : compostage des déchets.
- Indicateur 23 : tri des déchets.

#### **2.A.d Stratégie: limiter l'utilisation du sol**

- Indicateur 24 : occupation du sol par le bâti.
- Indicateur 25 : occupation du sol par les parkings.

### **2.B OBJECTIF: créer une écologie urbaine**

Eléments naturels et espace urbain ont longtemps été considérés comme deux concepts opposés ou aliénés. La vision de durabilité considère, au contraire, que ces deux concepts peuvent se retrouver (écologie urbaine). Ceci conduit à la reconquête du végétal à l'intérieur de l'espace urbain. Les enjeux en termes d'aménagement de l'introduction d'éléments naturels sont larges :

- Indicateur 26 : amélioration du confort thermique urbain : création d'ombrages, de protections solaires des enveloppes du bâti.
- Indicateur 27 : amélioration de la qualité de l'air et des sols : outils d'amélioration de la qualité de l'air, de la phyto-rémediation des eaux.
- Indicateur 28 : diminution des risques naturels : augmentation du pouvoir d'absorption de l'eau par le sol.
- Indicateur 29 : éléments de structuration du paysage urbain et amélioration de la qualité de vie des habitants : délimitation des parcelles et des voies urbaines et création d'endroits calmes et naturels, sources de bien-être social des habitants.
- Indicateur 30 : protection de la biodiversité : favoriser les espèces endémiques.

Les enjeux engendrés par l'introduction du végétal et de l'élément eau sont énormes dans l'espace urbain et nécessitent de leur consacrer un objectif à part entière.

### **I.2.3 AXE 3 : l'organisation de l'espace urbain et la qualité de vie qui en ressort.**

Après avoir considéré les infrastructures et le bâti dans l'axe 1; le cycle de consommation de l'espace urbain ainsi que la réintroduction de l'élément naturel dans l'axe 2, l'axe 3 examine le fonctionnement de l'espace urbain et les aménités offertes aux habitants.

#### **3.A OBJECTIF: favoriser des déplacements durables**

Les déplacements représentent une large part de la consommation urbaine. Ils sont une source non négligeable de pollution et de production de chaleur d'origine anthropique. Les enjeux de l'objectif 3.A sont donc fondamentaux en termes de réduction de la consommation énergétique urbaine. La stratégie choisie est triple : favoriser les déplacements doux, favoriser les transports en commun, limiter l'entrée de la voiture dans l'espace urbain à travers l'action sur les politiques de stationnements. La transformation des habitudes des citoyens passe par la mise à disposition d'infrastructures et d'équipements et/ou services publics efficaces.

##### **3.A.a Stratégie: favoriser l'utilisation des modes de déplacement doux**

- Indicateur 31: linéaire dédié aux déplacements doux.
- Indicateur 32 : parkings vélos (Espaces publics).
- Indicateur 33 : parkings vélos (Espaces privés).
- Indicateur 34 : système de vélos en libre service.

##### **3.A.b Stratégie: favoriser l'utilisation des transports en commun**

- Indicateur 35: sites propres pour les transports en commun.
- Indicateur 36 : liaisons assurées entre différents transports en commun.
- Indicateur 37 : fréquence de desserte.
- Indicateur 38 : plage horaire de services des transports en commun.

##### **3.A.c Stratégie: limiter l'entrée de la voiture dans l'espace urbain au profit de modes de déplacements plus durables**

- Indicateur 39 : places de parking par logement.
- Indicateur 40 : places de parkings publics.

### **3.B OBJECTIF: organiser l'espace urbain de manière durable**

La fonctionnalité de l'espace urbain, les services offerts aux habitants (services de proximité, accès aux espaces verts et de loisirs, présence d'espaces communs...), le paysage urbain, la communication réalisée autour des aménagements réalisés, la participation des habitants sont des critères permettant potentiellement d'évaluer les perspectives de développement durable.

Ils permettent de mesurer :

- l'ambiance sociale dans le quartier,
- la pérennité des rapports entre les habitants,
- la réduction des déplacements courts.

Trois stratégies permettent d'évaluer le « potentiel » de développement social et culturel du quartier en accord avec un mode de vie plus « économe » sur le plan énergétique.

#### **3.B.a Stratégie: accessibilité aux fonctions urbaines, mixité**

- Indicateur 41 : existence de services de proximité.
- Indicateur 42 : mixité fonctionnelle.
- Indicateur 43 : mixité sociale.
- Indicateur 44 : stratégie de résidentialisation.

#### **3.B.b Stratégie: qualité de vie**

- Indicateur 45 : diversité architecturale.
- Indicateur 46 : espaces communs des opérations économiques et sociales.
- Indicateur 47 : espaces végétalisés publics.
- Indicateur 48 : vocabulaire routier.

#### **3.B.c Stratégie: participation des habitants**

- Indicateur 49: sensibilisation écologique des habitants.
- Indicateur 50 : participation des habitants aux projets communs.
- Indicateur 51 : innovations sociales et caractère évolutif du quartier.

**Ces trois axes de la grille** d'évaluer un quartier selon ses performances en termes de durabilité. Quatre niveaux apparaissent : Non Performant, Base, Performant, Très Performant.



## I.2.4 Méthodologie de notation

### Notation de chaque indicateur

Chaque indicateur de la grille doit donner une note de performance pour le quartier, selon les seuils définis. Ces notes s'étalent de 1 à 3 points par indicateurs:

- Si niveau Très Performant (TP) atteint → 3 Points
- Si niveau Performant (P) atteint → 2 Points
- Si niveau Base (B) atteint → 1 Point
- Les indicateurs ne respectant pas au minimum le niveau de Base sont considérés comme Non Performants (N.P.) en termes de durabilité → 0 Points

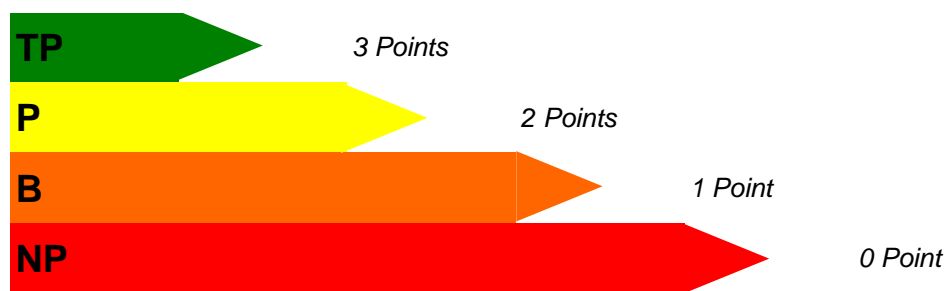


Figure 15 : Nombre de points « gagnés » par indicateur, selon l'atteinte des différents seuils

Chaque indicateur est pondéré par un coefficient allant de 1 à 3. Ces facteurs de pondération permettent de hiérarchiser les indicateurs selon leur importance vis-à-vis des enjeux fondamentaux qu'il faut atteindre. (Par exemple, un indicateur obtenant un niveau Très Performant (3 points) et bénéficiant d'un critère de pondération 2 ; obtiendra au final 3 points x 2 = 6 points).

### Notation globale du quartier

Un total du nombre de points accumulés sur le quartier est établi pour l'ensemble des indicateurs. L'objectif, in fine, est d'attribuer un niveau de performance globale en termes de durabilité à chaque quartier. Ce niveau de performance globale peut varier de NP (Non performant) à TP (Très performant), comme ceci est représenté dans le tableau ci-dessous.

L'obtention d'un niveau de performance pour le quartier est conditionnée par l'obtention des seuils suivants:

- entre 66 et 150 points : obtention du niveau de performance de durabilité « Base » (B) pour le quartier ;

- entre 150 et 197 points : obtention du niveau de performance de durabilité « Performant » (P) pour le quartier ;
- plus de 197 points : obtention du niveau de performance de durabilité « Très Performant » (TP) pour le quartier ;
- dans le cas où le quartier obtient moins de 66 Points, il est considéré comme « Non Performant » (NP) en termes de durabilité.

TP	Quartier Très Performant (en termes de durabilité)	La prise en compte du développement durable dans le quartier est exemplaire.
P	Quartier Performant (en termes de durabilité)	La prise en compte du développement durable dans l'aménagement, permet d'avoir des impacts très positifs.
B	Quartier de Base (en termes de durabilité)	Des efforts en termes de développement durable sont réalisés, cependant ils peuvent être améliorés afin d'obtenir des résultats encore plus significatifs.
NP	Quartier Non Performant (en termes de durabilité)	Le quartier est fonctionnel et permet de loger les habitants, cependant la durabilité est très peu pensée

Figure 16 : Définition d'un quartier selon son niveau de performance

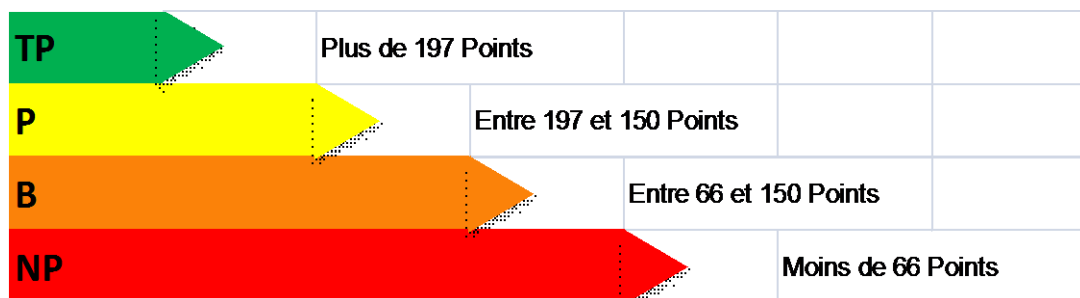


Figure 17 : Niveau de performance des quartiers en fonction du pourcentage de points accumulés dans l'évaluation

Les seuils suivants ont été définis en considérant les hypothèses suivantes :

- Niveau de Base pour le quartier atteint si au moins 70% des indicateurs sont de niveau Base
- Niveau Performant pour le quartier atteint si au moins 50% des indicateurs atteignent le niveau Base, 40% des indicateurs le niveau Performant et 10% des indicateurs le niveau Très Performant.
- Niveau Très Performant pour le quartier atteint si au moins 30% des indicateurs atteignent le niveau Base, 30% le niveau Performant et 40% des indicateurs le niveau Très Performant.

**NOTE IMPORTANTE :**

La présentation de la grille complète est présentée en Annexe 1 (avec les sous-annexes 1.1– 1.2 – 1.3, qui correspondent aux axes 1 – 2 – 3 de la grille).

## I.3 Application de la grille d'évaluation sur le quartier de la Ravine Blanche

### I.3.1 Déroulement de l'évaluation : une comparaison avant et après les opérations de rénovation urbaine

Deux étapes ont été considérées lors de l'application de la grille d'indicateurs de développement durable urbain au quartier de la Ravine Blanche:

- Premièrement : l'étude de l'état actuel du site, qui représente les performances du quartier avant les travaux réalisés dans le cadre du projet de rénovation urbaine.
- Deuxièmement : l'analyse du site lorsque le projet de rénovation urbaine sera réalisé. Cette deuxième analyse s'appuie sur une simulation, puisque elle évalue un état futur du quartier, mais utilise les données officiellement affichées par le projet de rénovation urbaine, ce qui permet de considérer que notre prévision devrait être proche de la réalité. Ce travail permet également d'évaluer les termes de durabilité du projet même de rénovation urbaine.

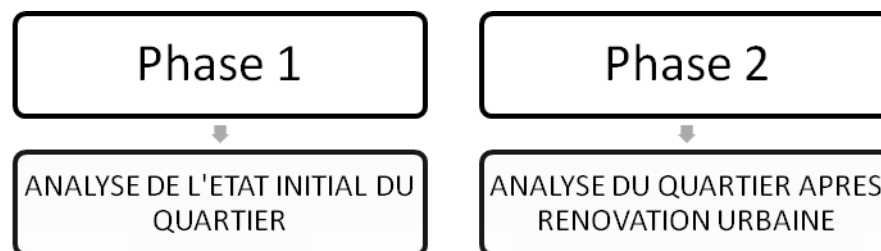


Figure 18 : Comparaison de la durabilité du quartier de Ravine Blanche

Cette double évaluation permet d'estimer les « progrès » réalisés en termes de durabilité urbaine dans le quartier de la Ravine Blanche, grâce au projet de rénovation urbaine. De façon plus générale, elle montre l'opérationnalité de la grille d'indicateurs pour évaluer la durabilité des territoires et des politiques urbaines en milieu tropical.

Sur le terrain, différents outils de recueil des informations ont été utilisés, notamment les outils SIG et « orthophoto ». Ces informations ont été complétées et enrichies par :

- Des données de terrain :
  - observations sur le terrain (visites interactives) ;
  - mesures complémentaires sur le terrain (télémètre laser...) ;
  - entretiens avec les habitants ou les acteurs de l'aménagement ;
  - mesures thermiques sur le terrain.

- Des modélisations informatiques :
  - modélisation 3D du quartier existant et du projet (Sketchup) ;
  - des simulations d'ombrages ;
  - des simulations thermiques.

Enfin, nous avons utilisé les documents et études issus du projet de rénovation urbaine et réalisés par la Municipalité de St Pierre.

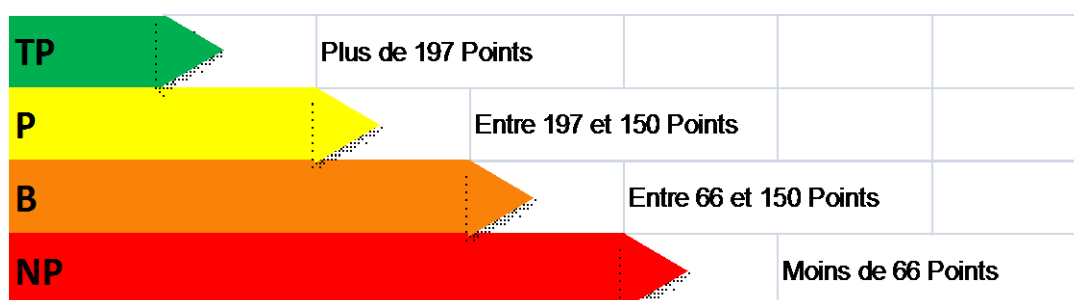
De ces informations sont extraites des données à la fois quantitatives et qualitatives. La méthodologie spécifique à chaque indicateur ainsi que les hypothèses de calcul sont disponibles directement sur les fiches des indicateurs en Annexe 1.

### I.3.2 Résultats d'évaluation du quartier.

L'analyse du quartier de Ravine Blanche selon les critères de notre grille d'évaluation du développement durable fait apparaître la situation suivante :

#### Synthèse globale résultats

	Etat Initial	Après Projet	Nbre de pts max
Axe 1	16 points	41 points	/ 93 points
Axe 2	15 points	46 points	/ 102 points
Axe 3	17 points	28 points	/ 90 points
<b>TOTAL</b>	<b>48</b>	<b>115</b>	<b>/ 285</b>



**Le quartier de Ravine Blanche atteint un niveau Non Performant actuellement  
un niveau de Base après la rénovation urbaine**

Figure 19 : Résultats de l'évaluation de la durabilité du quartier de la Ravine Blanche

Entre l'état actuel du quartier et celui d'après-projet, de nombreuses améliorations sont constatées. Bien que la rénovation urbaine ne prétende pas engager un processus de transformation durable du quartier et que certains aspects du développement durable soient négligés, son évolution globale est clairement positive. Il convient, à cet égard, d'admettre, que la réalisation des objectifs de durabilité dans les quartiers urbains tropicaux est aussi une question de priorités et de compromis, permettant de respecter l'urgence des besoins énergétiques, économiques et sociaux.

### **Commentaires relatifs à l'axe 1 : *Evaluer l'adaptation de l'espace urbain à l'environnement local***

Sur les 13 indicateurs que compte cet axe, 9 présentent un niveau de performance « base », 2 un niveau « performant », 1 seul a un niveau « très performant » (et 1 indicateur n'a pas fait l'objet d'évaluation). Ce bilan reflète une faible amélioration entre l'état actuel du quartier et celui simulé dans la phase d'après-projet. Cependant, cette conclusion mérite d'être relativisée car cet axe contient de nombreux indicateurs concernant le bâti sur lequel les interventions sont limitées car restent économiquement très onéreuses. De plus, le projet de rénovation urbaine de la Ravine Blanche est en partie axé sur les nouvelles constructions et agit moins sur le bâti existant.

Si l'on examine les 9 indicateurs avec un niveau de performance « base » :

- 7 enregistrent une amélioration significative : on retient, par exemple, le fait que la présence d'espaces de rétention des eaux passe de 0 à 5% des bâtiments ou encore la protection solaire des toitures passe de 14 à 46% des bâtiments et atteint ainsi, quasiment, le niveau « performant » ;
- 2 sont en baisse : il s'agit des indicateurs sur la porosité urbaine et sur la perméabilité des sols. La baisse de ces 2 indicateurs s'explique par le fait que l'implantation de constructions nouvelles, prévue par le projet, aboutit à la dégradation de la perméabilité des sols.

Les deux indicateurs qui atteignent un niveau performant sont le niveau de réflexion thermo-aéraulique et la porosité des logements. Ce dernier facteur est fondamental pour le confort hygrothermique. Cet indicateur pourrait être qualifié d'indicateur fondamental au-delà du système de notation mis en place, ce qui conduit à relativiser davantage la « faiblesse » des certaines autres performances du projet de rénovation urbaine.

Le seul indicateur à atteindre le niveau « très performant » est celui de la protection solaire des espaces d'attentes. Si cet indicateur semble secondaire à première vue, son impact peut se révéler très significatif sur le mode de vie et de déplacement des habitants. Cet indicateur relève l'exemple type d'une action simple et peu coûteuse qui peut accompagner la mise en place d'un quartier durable tropical.

## ***Commentaires relatifs à l'axe 2 : Evaluer l'impact de l'espace urbain sur l'environnement***

Sur les 16 indicateurs que compte cet axe, 5 ne font l'objet d'aucune action dans le projet de rénovation urbaine, 5 restent au niveau de performance « base », 4 atteignent un niveau « performant » et enfin 4 atteignent un niveau « très performant », dans la période d'après-projet.

Ces résultats traduisent l'attention toute particulière qui a été portée à l'environnement dans le cadre du projet de rénovation urbaine. Cet axe comprend tous les indicateurs ayant trait à l'introduction du végétal dans l'espace urbain, sachant que cet aspect est primordial pour le bien être des habitants.

Les 5 indicateurs ayant un niveau « base » concernent la présence et l'introduction du végétal dans le quartier. A l'inverse de l'axe précédent, tous les indicateurs ayant un niveau « base » sont en augmentation, sans néanmoins passer au niveau « performant ». Ceci s'explique par l'ampleur des efforts financiers nécessaires à la mise en place des stratégies d'amélioration correspondantes. Il convient néanmoins de retenir certains cas d'amélioration notable tels que l'indicateur sur les espèces endémiques qui passe de 0 à 50% après le projet de rénovation urbaine.

Les 4 indicateurs ayant un niveau « performant » sont relatifs à la gestion des espaces végétalisés pour 3 d'entre eux et à l'implantation des arbres pour le quatrième. Cela traduit l'attention portée à l'entretien des espaces végétalisés, nécessaire pour éviter les risques de dégradation et de désappropriation de l'espace par les habitants.

Enfin, les 4 indicateurs qui présentent un niveau « très performant » se divisent en deux groupes : la gestion du sol et la qualité des espaces verts.

## ***Commentaires relatifs à l'axe 3 : Evaluer l'organisation de l'espace urbain et la qualité de vie des habitants***

Sur les 20 indicateurs que compte cet axe, 5 ne font l'objet d'aucune action par le projet de rénovation urbaine, 2 seulement ont un niveau de performance « base », 10 sont classés performants et enfin 3 passent au niveau « très performant », dans l'après-projet.

Avec 13 indicateurs au niveau « performant » et « très performant », cet axe met en évidence les points forts du projet de rénovation urbaine du quartier de la Ravine Blanche. Sur les 10 indicateurs atteignant le niveau « performant », 7 sont en rapport avec les transports en communs et les modes de déplacement doux. Cela traduit une véritable stratégie de réduction de l'utilisation de la voiture pour les déplacements intra-quartier.

Conjugués aux résultats de l'indicateur sur la mixité fonctionnelle, on pourrait qualifier le projet de rénovation urbaine d'exemplaire en ce qui concerne la gestion des déplacements intra-quartier. Néanmoins, il convient d'évaluer et de quantifier la réalité des déplacements, à nouveau, une fois le projet réalisé.

Enfin, concernant les indicateurs qui présentent un niveau « très performant » après le projet de rénovation urbaine, on retrouve la sensibilisation des habitants à la démarche participative et la mixité sociale qui reste néanmoins limitée par la présence d'îlots spécifiques d'habitat social. L'évaluation de la sensibilisation des habitants post-projet représente cependant une valeur fortement controversée.

### *Conclusion de l'analyse*

Les résultats obtenus via la grille d'indicateurs apportent une évaluation contrastée, bien que globalement positive, du projet de rénovation urbaine. De façon générale, le projet est équilibré et se concentre sur des aspects primordiaux tout en délaissant certains objectifs comme les ENR qui peuvent être considérés comme secondaires. On retient que les actions de rationalisation de l'utilisation de l'espace semblent particulièrement pertinentes, avec un très faible recul de la perméabilité des sols (implantation judicieuse des nouveaux bâtis a contrario d'une consommation brute d'espace perméable) et une occupation minimale du sol par le bâti. Concernant ce dernier point, l'impact de ce seul indicateur est très important puisqu'il permet de quantifier la marge potentielle d'aménagement, qui se révèle excellent pour le quartier de la Ravine Blanche.

On retiendra également le fait que des actions relativement peu coûteuses sur le plan financier mais ayant un impact significatif sur la vie des habitants tels que la protection solaire des espaces d'attentes sont mises en places quasi systématiquement. Enfin, les actions en faveur d'un TCSP ont un impact extrêmement positif.

## I.4. Un exemple de proposition de modification du PLU en intégrant des règles de conception urbaines durables

Nous basons notre exemple sur le PLU de la ville de St Pierre et plus précisément sur la zone U1, qui correspond au règlement qui s'applique à la zone d'étude de Ravine Blanche. Le PLU fait apparaître 13 chapitres (voir 14 selon R123-9 du code de l'urbanisme) de dispositions réglementaires applicables. Sont abordés :

- Article 1 : occupations et utilisations du sol interdites.
- Article 2 : occupation et utilisation du sol soumises à des conditions particulières.
- Article 3: conditions de desserte des terrains par les voies publiques ou privées et d'accès aux voies ouvertes au public.
- Article 4 : conditions de dessertes des terrains par les réseaux publics d'eau, d'électricité et d'assainissement.
- Article 5 : superficie minimale des terrains constructibles.
- Article 6 : implantation des constructions par rapport aux voies et emprises publiques.
- Article 7 : implantation des constructions par rapport aux limites séparatives.
- Article 8 : implantation des constructions les unes par rapport aux autres sur une même propriété.
- Article 9 : emprise au sol des constructions.
- Article 10 : hauteur maximale des constructions.
- Article 11 : aspect extérieur des constructions et aménagement de leurs abords.
- Article 12 : obligations imposées aux constructeurs en matière d'aires de stationnement.
- Article 13 : obligations imposées aux constructeurs en matière de jeux et de loisirs et de plantation.

### I.4.1 Description générale de la zone U1 du PLU de St Pierre

La zone U1 du PLU de Saint Pierre est celle définie par le quadrillage rouge.

On observe dans la zone U1 du PLU de St Pierre, la prise en compte de 4 zonages :

- U1ce : l'hyper-centre, dans lequel sont préconisées une morphologie homogène et dense et une implantation du bâti en ordre continu.
- U1fm : le front de mer de St. Pierre, dans lequel sont préconisées la constitution d'un front bâti de qualité architecturale, ainsi que la création d'un véritable pôle économique basé sur le tourisme et les loisirs.



- U1pa : le quartier historique de St Pierre, notamment Terre-Sainte, dans lequel sont préconisées la préservation et la mise en valeur du patrimoine et de l'architecture créole....
- U1re : Les autres quartiers centraux dans lequel est préconisée une requalification du tissu urbain, souvent encore précaire.

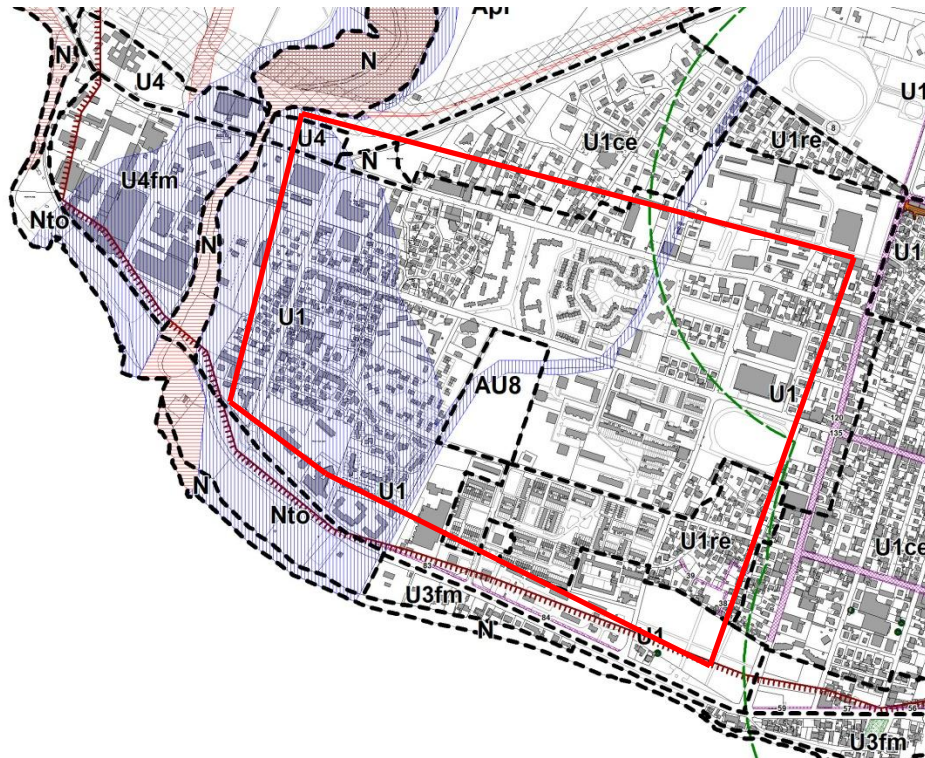


Figure 20 : Zonage du PLU de St Pierre : quartier de la Ravine Blanche

Nous analysons uniquement les préconisations pour la zone U1re qui englobe la partie de la ville concernée par le projet de requalification urbaine :

## I.4.2 Intégration des préconisations du développement durable dans chaque disposition réglementaire

### Article U1 1 Occupations et utilisations du sol interdites

On note dans les mesures prises en compte dans le PLU : une préservation des espaces naturels en cohérence avec les objectifs de prévention et de gestion des risques ; un éloignement des activités nuisibles (en termes d'odeurs, de bruits, de risque...) ; une restriction de l'occupation du sol pour les activités de production ou de stockage (agricole, industriel, artisanale), au profit d'activités économiques. Par cette politique, les activités nécessitant

beaucoup d'espace de stockage ou de production sont reléguées en périphérie de la ville. Ce choix est relativement cohérent avec les objectifs de densité urbaine, mais peut devenir restrictif pour les petits artisans/commerçants souhaitant créer leur activité en centre-ville pour être plus près de leur logement.

#### ***Points à modifier***

- Souplesse à envisager afin de permettre l'implantation de petits artisans ne produisant pas de nuisances fortes, au sein du quartier dans l'objectif de favoriser le développement d'activités économiques diversifiées à petite échelle.

#### **Article U1 2 Occupation et utilisation du sol soumises à des conditions particulières**

Pas de remarques particulières sur cet article

#### **Article U1 3 Conditions de desserte des terrains par les voies publiques ou privées et d'accès aux voies ouvertes au public.**

Cet article concerne principalement l'accès aux parcelles.

Le fait que les unités foncières enclavées ne bénéficiant pas de servitude de passage soient inconstructibles va dans le sens contraire de l'objectif de densité urbaine, préconisé en développement durable. Il faut donc prévoir de créer des « ilots » plus petits, afin de permettre l'accès à toutes les parcelles ou, alors, il faut imposer la création de servitudes de passage piétonnes pour l'accès à toutes les parcelles enclavées.

Les espaces urbanisés ne pouvant bénéficier de servitudes de passage car déjà construits, doivent faire l'objet d'une valorisation végétale (afin d'améliorer le confort thermique urbain global du quartier). Les espaces enclavés non construits et laissés à l'abandon, doivent, de leur côté, pouvoir faire l'objet de valorisation temporaire pour la création d'un espace public.

#### ***Points à modifier***

- Obligation de création de servitudes de passages piétonnes pour les espaces enclavés.
- Nécessité de valoriser les espaces non construits et de desservir les parcelles enclavées pour favoriser une densité urbaine. Pas d'inscription de ce point dans le PLU, mais la municipalité pourrait envisager la valorisation végétale des surfaces laissées en friche ou, alors, les valoriser en terme de création d'espaces publics.

## **Article U1 4 Conditions de desserte des terrains par les réseaux publics d'eau, d'électricité et d'assainissement**

### Eaux usées

Concernant les eaux usées, le PLU préconise de raccorder au réseau collectif d'assainissement toutes les habitations. Or, un raccord systématique n'est pas forcément la solution. La mise en place de systèmes autonomes et/ou de prétraitement des eaux usées pourrait limiter le sur-chargement des stations d'épuration en limitant le volume d'eau à traiter sur l'ensemble du quartier. Il convient de noter le besoin d'une modification de la réglementation nationale qui permettrait de pouvoir procéder sur zone à l'infiltration des eaux grises selon des procédés définis serait intéressante (exemples: Chaussettes drainantes, phytoremédiation...).

### Eaux pluviales

Le PLU préconise de favoriser l'écoulement des eaux pluviales vers l'exutoire. Plutôt que de chercher à évacuer le plus rapidement possible les eaux pluviales de la parcelle, il serait intéressant d'inverser cette logique, c'est-à-dire tendre vers l'infiltration de la totalité des eaux pluviales. Ces objectifs sont réalisables grâce, d'une part, à la perméabilisation du sol (végétalisation avec des systèmes racinaires importants) et, d'autre part, à la création d'espaces de temporisation d'infiltration des eaux lors des fortes pluies. Enfin, les eaux pluviales peuvent aussi faire l'objet d'une récupération et d'une réutilisation (exemple: usage des jardins).

#### ***Points à modifier***

- La logique d'évacuation des eaux pluviales doit être inversée. Il semble préférable d'infiltrer les eaux directement sur la parcelle, plutôt que les évacuer.

## **Article U1 5 Superficie minimale des terrains constructibles**

Aucune prescription n'existe à ce jour dans le PLU pour réglementer des surfaces minimales de terrain constructible. Dimensionner des surfaces minimales de parcelles, en prenant comme surface minimale celle nécessaire au prétraitement d'eaux usées, serait une base de réflexion intéressante.

#### ***Points à modifier***

- Création d'un seuil minimal de parcelle, basé sur le critère de dispositifs de prétraitement des eaux usées.

## **Article U1 6 Implantation des constructions par rapport au voies et emprises publiques**

Cet article concerne l'alignement des constructions sur l'emprise publique. Les réserves de terrain, ainsi que les retraits de construction préconisés dans le PLU vont dans le sens des préconisations de la grille de développement durable présentée dans le rapport, car on éloigne les logements des principales sources de bruit et on permet la création d'espaces tampons entre le bâti et les voies.

### ***Points à modifier***

- Continuer à favoriser la diversification de l'alignement urbain.

## **Article U1 7 Implantation des constructions par rapport aux limites séparatives**

Pas de remarques particulières.

## **Article U1 8 Implantation des constructions les unes par rapport aux autres sur une même propriété**

Cet article concerne la porosité urbaine. Des distances minimales d'éloignement entre deux bâtiments sur une même parcelle sont préconisées dans le PLU. Le choix des distances pourrait être complété par la prise en compte du critère de porosité urbaine (Exemple : en considérant un rapport H/L entre deux bâtiments supérieur à 2 selon le vecteur caractérisant les brises thermiques). Dans tous les cas, une distance de 3 m entre les bâtiments n'est pas suffisante pour permettre une ventilation suffisante et une distance minimale de 5m semble plus adéquate..

### ***Points à modifier***

- Prendre en compte la porosité urbaine dans le calcul des distances entre deux bâtiments sur une même parcelle. Augmenter la distance minimale entre bâtiments à 5 mètres..

## **Article U1 9 Emprise au sol des constructions**

La règle existante de 80% d'emprise au sol maximum doit être revue à la baisse afin de favoriser la perméabilisation du sol, la végétalisation aux abords du bâtiment, la création d'espaces aménagés extérieurs (Voir seuils de l'indicateur n° 24). Une emprise de 60% au maximum doit être considérée. Une dérogation pourrait, cependant, être envisagée sous réserve de création de toitures végétalisées. Au coefficient d'emprise au sol, devrait être rajouté un coefficient de surfaces perméables, afin de limiter l'implantation de surfaces minérales.

### ***Points à modifier***

- .Diminution du coefficient d'emprise au sol à 60%

## **Article U1 10 Hauteur maximale des constructions**

Actuellement le PLU préconise au maximum la construction de R+3 + combles avec 18 m de faitage ou de R+1 + combles pour le secteur U1re. Compte tenu de la raréfaction du foncier et de son coût, la logique économique tend à maximiser le nombre de logements sur parcelles et donc à créer des bâtiments atteignant systématiquement la limite réglementaire. Dans un souci de diversité architecturale et de modification de l'épannelage, il serait préférable de préconiser des hauteurs moyennes de bâtis tels que R+x moyen. Cette proposition se heurte, cependant, au calcul de rentabilité des constructeurs.

### ***Points à modifier***

- .Modification du mode de réglementation des hauteurs des bâtis : plutôt que de considérer des hauteurs maximales, il faut privilégier les hauteurs moyennes.

## **Article U1 11 Aspect extérieur des constructions et aménagement de leurs abords**

### **Façades**

En ce qui concerne la couleur des enduits, le PLU préconise un traitement dans des tons harmoniques clairs. Cette préconisation est convenable dans le sens où elle favorise un facteur solaire faible. Malgré tout il semble important de permettre une variété de couleurs pour garantir un confort visuel aux habitants du quartier.

### **Toitures**

Actuellement les toitures doivent avoir une architecture à pente (Entre 20 et 100% selon le cas). Bien qu'adaptée aux exigences du climat tropical (notamment les risques liées aux fortes pluies), cette obligation n'est pas idéale pour favoriser la valorisation des toitures. Les toits à pente ne permettent pas l'implantation de toitures végétalisées, de chauffe-eaux solaires et panneaux photovoltaïques, ni la création d'espaces de convivialité.

### **Clôtures**

Les préconisations de clôtures à 1,70m sont à rabaisser à 1,30-1,40m Les clôtures doivent être végétales et garantir une perméabilité hydraulique et visuelle, participant ainsi au paysage urbain.

**Points à modifier**

- Instauration d'un quota de couleurs vives pour égayer le quartier à 15% maximum.
- Suppression de l'obligation de toit à pente, pour favoriser la valorisation des toitures.
- Diminution de la hauteur des clôtures à 1,30-1,40m.

**Article U1 12 Obligations imposées aux constructeurs en matière de réalisation d'aires de stationnement**

En matière d'obligations imposées aux constructeurs en matière de réalisation d'aires de stationnement, plusieurs préconisations peuvent être effectuées :

- Les normes de stationnement et restrictions doivent être plus sévères : le critère de base défini pour le stationnement dans la grille d'évaluation est de 0,80 places par logements contrairement aux 1,5 places préconisées par le PLU.
- Plutôt que de réaliser des aires de stationnements sur une autre parcelle, lorsqu'on n'a pas créé le nombre d'emplacements nécessaires au stationnement, une mutualisation des parkings avec d'autres activités ou résidences doit être privilégiée.
- Les poches de stationnement ne doivent pas dépasser 10 places, afin de réduire la prédominance de la voiture sur l'espace public et de limiter sa visibilité.
- Des emplacements vélos doivent être systématiquement prévus, à raison d'un emplacement minimum par logement. Cet emplacement doit être de plus d'1m<sup>2</sup> (ex 1,50m<sup>2</sup>).
- Seuls 10% du stationnement seront autorisés en extérieur. Le reste du stationnement devra être compris dans l'emprise du bâtiment (exemple : Souterrain du bâti) ou des voiries.

**Points à modifier**

- Diminution du ratio de places de stationnement à 0,8 places par logement.
- Emplacement vélo obligatoire quelle que soit la taille de l'opération et également pour toutes les activités (logement, commerces, établissement scolaire etc...)
- Limitation de l'offre de stationnement en aérien.
- Ombrage systématique des emplacements de stationnement.

## **Article U1 13 Obligations imposées aux constructeurs en matière de jeux et de loisirs et de plantation**

En matière d'obligations imposées aux constructeurs en matière de jeux, de loisirs et de plantations, plusieurs préconisations peuvent être effectuées :

- Les stationnements doivent être ombragés, avec la présence obligatoire d'un arbre par place, contrairement à la préconisation actuelle (un seul arbre pour quatre places de stationnements).
- Il faut procéder à une augmentation du seuil minimal de 15% de la superficie de l'unité foncière traitée en espace vert.
- Les espaces verts ne doivent pas se limiter aux pelouses ou espaces enherbés, ils doivent comporter des strates arbustives et arborées afin de garantir la création d'un écosystème, Plus de 4 espèces endémiques différentes doivent être présentes.
- Des espaces de loisirs, de détente et de rencontre, doivent être systématiquement intégrés dans les opérations de construction, même pour celles de moins de cinq logements. Ces espaces doivent être nécessairement ombragés.

### ***Points à modifier***

- Stationnements obligatoirement ombragés : une place de parking = un arbre planté.
- Augmenter la superficie de l'unité foncière en espace vert.
- Obligation de planter une variété de végétaux endémiques des trois strates (herbacé, arbustive et arborée).
- Création systématique d'espaces de loisirs.

## I.5 CONCLUSION

---

A travers ce projet de recherche, une grille d'indicateurs a été mise en place pour quantifier le niveau de performance d'un quartier durable en milieu urbain tropical. A notre connaissance, il s'agit du premier travail dans ce domaine pour ce type de climat.

Cette grille d'évaluation permet de mettre en évidence un certain nombre d'enjeux de développement durable urbain en milieu tropical : nécessité d'adapter le bâti vis-à-vis du climat local, nécessité de se protéger du rayonnement solaire, importance de la végétation dans l'espace urbain, importance de la conception thermo-aéraulique des opérations de construction, développement des déplacements doux... Tous ces paramètres jouent sur la diminution de la consommation énergétique d'un quartier et permettent d'améliorer le confort thermique urbain.

In fine, quatre niveaux de performances sont proposés pour qualifier le quartier : Non performant, Base, Performant et Très Performant.

La grille a été appliquée à un quartier existant : celui de la Ravine Blanche, situé sur la commune de Saint-Pierre, qui bénéficie d'un projet de rénovation urbaine. La grille a donc été utilisée pour qualifier le quartier dans sa forme actuelle et future.

Les résultats d'évaluation font apparaître un niveau « non performant » du quartier dans son état actuel. Le projet de rénovation urbaine permettra d'atteindre le niveau de base, soit la première échelle de performance, sur les trois disponibles (Base, Performant, Très Performant). Il s'agit d'une avancée importante mais, en même temps, limitée compte tenu des ambitions et du poids financier de l'opération engagée. Ceci montre à la fois les difficultés et le potentiel de progrès à réaliser en termes de développement durable.

Enfin, en s'appuyant sur le cas de la Ravine Blanche, nous donnons un exemple de propositions concrètes de modification d'un PLU, afin de prendre en considération les préconisations d'efficacité énergétique et de développement durable au niveau d'un quartier.



## **PARTIE II : ELEMENTS SPECIFIQUES DES PROJETS D'URBANISME DURABLE EN MILIEU TROPICAL**

---

Cette deuxième partie du rapport aborde trois thématiques particulières des projets d'urbanisme durable en milieu tropical : **le confort thermique, les déplacements intra-quartier et la sensibilité écologique des habitants**. Le choix de ces thématiques ressort du travail engagé dans la première partie qui a révélé le besoin de prendre en considération les spécificités climatiques et sociales des quartiers urbains tropicaux.

Les deux premières thématiques produisent des mesures de confort thermique et des émissions de gaz liés aux déplacements courts. Leur originalité réside dans l'application au climat tropical. La troisième thématique met en avant davantage une question sociologique concernant la sensibilité des habitants aux problèmes de l'environnement et du développement durable. Elle renvoie, globalement, à la question de la compatibilité entre conscience citoyenne écologique et fragilité économique et sociale. Elle concerne évidemment aussi les espaces tempérés, bien qu'elle se pose de façon plus cruciale dans les pays en développement du Sud.

## II.1 Evaluation du confort thermique en milieu urbain tropical

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact d'une typologie d'urbanisation en termes de températures d'air et d'évaluer l'effet « Ilot de chaleur urbain » en milieu tropical. Le terrain d'étude reste évidemment le quartier de la Ravine Blanche.

### II.1.1 Méthodologie

Les mesures ont été réalisées avec des boîtiers Testo permettant de mesurer la température et l'humidité extérieures à des pas de temps déterminés. Les données sont stockées via une mémoire interne puis téléchargées vers un ordinateur pour permettre leur exploitation.



Figure 21 : Boîtier température/humidité testo utilisé

Deux campagnes ont été effectuées afin de mesurer le confort thermique et l'évolution des températures dans différents milieux. Elles ont eu lieu du 28/12/2009 au 18/01/2010 (représentation graphique de trois jours les plus chauds : du 28 au 31/12) et du 22/04/2010 au 11/05/2010. Uniquement la synthèse des résultats est présentée dans cette section.

Durant les campagnes de mesures, les milieux ont été identifiés selon leur degré de minéralisation. Ont été considérés trois types de milieux :

- un milieu très minéralisé (à plus de 90%) aux alentours des parkings, des bâtiments, de la voirie, et des espaces publics ;
- un milieu semi-minéralisé avec un espace végétalisé entouré de parking et des voiries ;
- un milieu très végétalisé avec 100% de végétalisation de type arboré ou arbustif très dense.

Les autres milieux concernés sont des logements collectifs :

- un logement récent (2006) traversant et orienté pour profiter des brises thermiques ;
- un logement ancien (1975) non traversant et orienté pour profiter des brises thermiques.



Figure 22: Seconde campagne des mesures (avril 2010). Localisation des capteurs de température et d'humidité

### Caractérisation des environnements

#### Cuisine Centrale (Ravine Blanche)



Environnement minéralisé (chaussé, parking). Du fait de l'implantation du boîtier contre un mur, rayonnement important de celui-ci sur le boîtier.

Figure 23 : Milieu très minéralisé (à plus de 90%) avec aux alentours des parkings, des bâtiments, de la voirie et d'espaces très peu végétalisés.



Figure 24 : Milieu semi-minéralisé avec un espace végétalisé entouré de parking et des voiries.



Figure 25 : Milieu très végétalisé avec 100% de végétalisation de type arboré ou arbustif très dense.



Figure 26: Logement récent (2006) traversant et orienté pour profiter des brises thermiques.



Figure 27: Logement ancien (1975) non traversant et orienté pour profiter des brises thermiques.

## II.1.2 Résultats

### Comparaison dynamique entre le milieu minéralisé et semi-minéralisé :

Le milieu très minéralisé enregistre des valeurs très fortes dépassant en journée les 32°C, avec une nette différence avec le milieu semi-minéralisé durant la nuit. La différence entre ces deux milieux est en général de 1,5°C avec des pointes pouvant dépasser plus de 2°C la nuit.

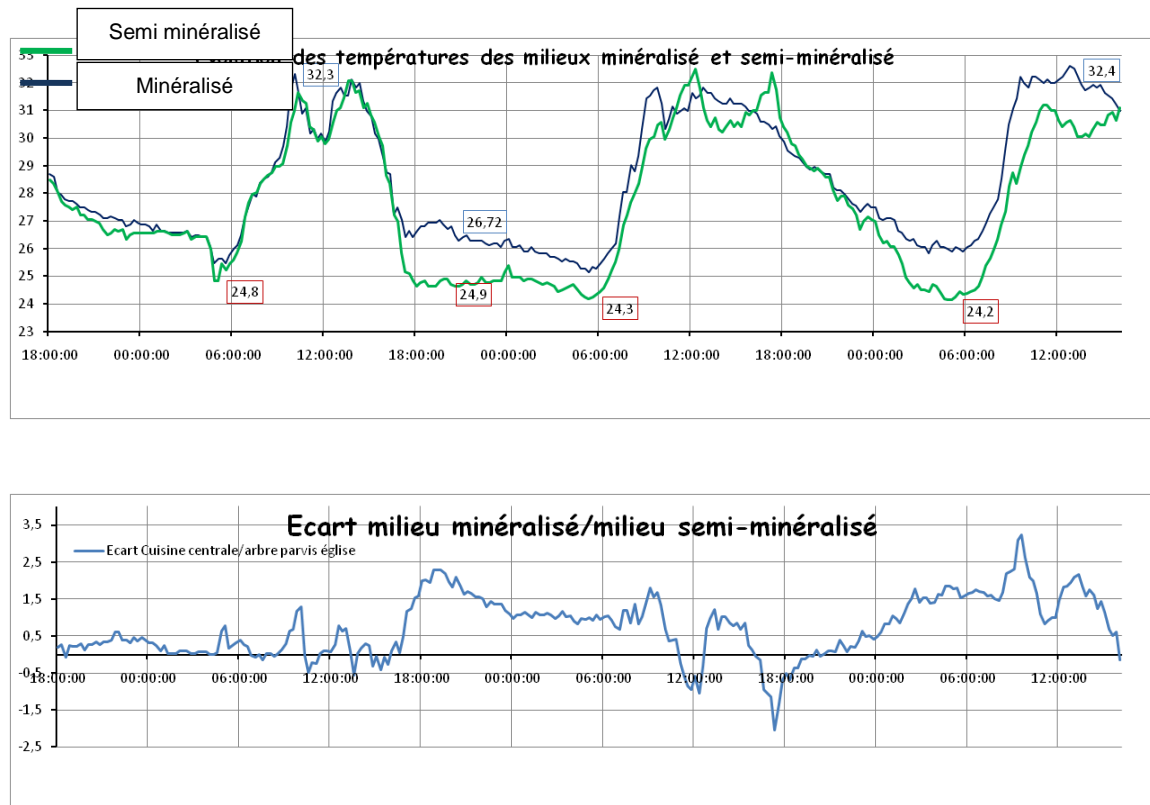


Figure 18: Écart de température entre un milieu minéralisé et semi-minéralisé.

**L'écart nocturne est essentiellement lié à l'inertie thermique du milieu minéralisé.**

### Comparaison dynamique entre le milieu semi-minéralisé et végétalisé

Le milieu semi-minéralisé enregistre des maximums pouvant atteindre 31 °C le jour. Le milieu végétalisé donne des valeurs inférieures à celles du milieu semi-minéralisé. Les valeurs ordinaires sont toujours inférieures de l'ordre de 1°C à 2°C en journée et de 2,5°C la nuit. Cependant, les écarts journaliers peuvent atteindre 6°C à certaines heures données ! D'une manière générale, on voit bien l'effet du milieu semi-minéralisé sur la dynamique des températures. Les températures restent plus chaudes sur une période plus longue, le matin ou en fin de journée.

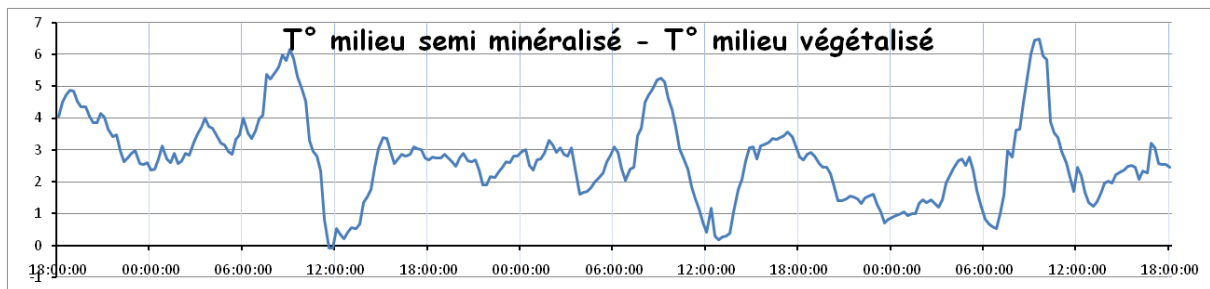
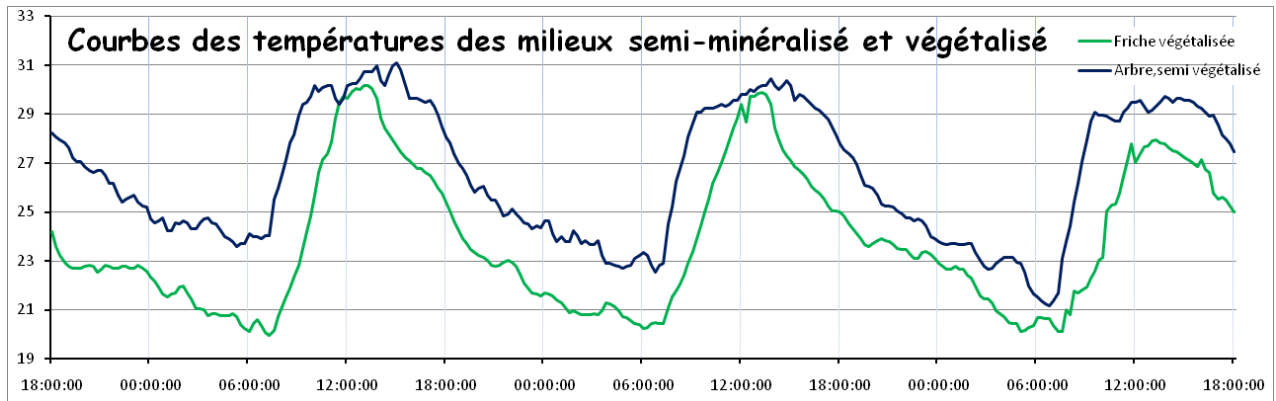


Figure 29: Ecart de température entre un milieu semi-minéralisé et végétalisé.

Dans ce cas également, l'inertie thermique du milieu semi minéralisé explique les écarts persistants aux heures nocturnes.

### Confort thermique dans les logements non-traversant et traversant

L'appartement non traversant affiche un inconfort total durant la période d'expérimentation. Même si par un moyen quelconque, il y avait une circulation d'air de 0,5 ou de 1 m/s, l'inconfort serait toujours important. La structure en béton, les surfaces des ouvrants et leurs orientations expliquent ce résultat. Le bâtiment est tout en béton sans protection des façades ni isolation et il n'y a pas de circulation de l'air. De ce fait, la zone de confort à considérer est le polygone vert (figure 30). Les températures maximales sont de l'ordre de 30°C avec une température ressentie du même ordre car il n'y a pas de ventilation traversante.

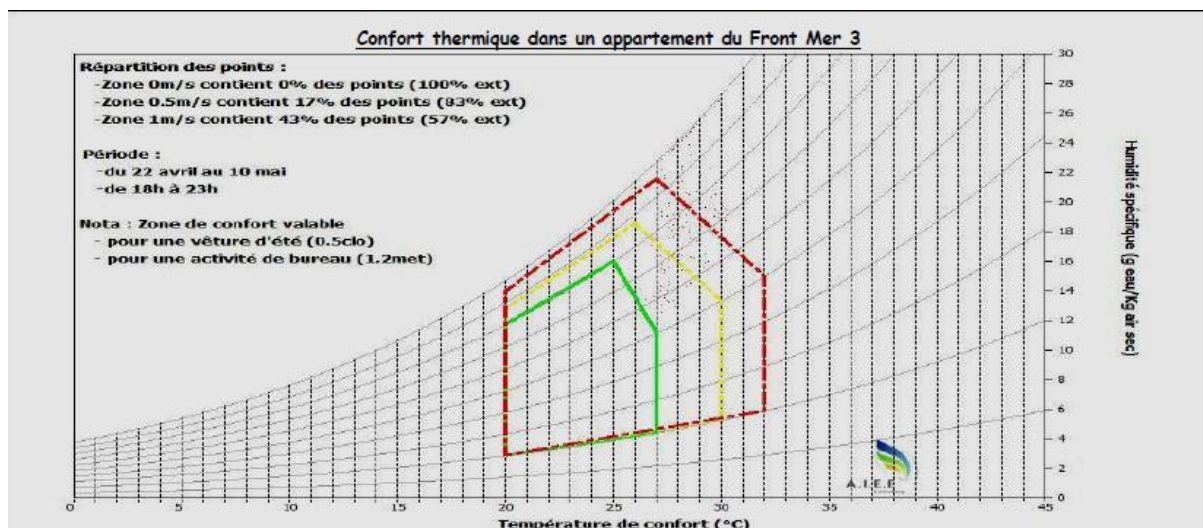


Figure 30: Confort thermique dans le logement non-traversant.

La totalité des points observés sont situés en dehors de la zone de confort de Givoni (polygone vert).

Concernant le logement traversant, les données obtenues montrent, à l'inverse, un plus grand confort. La zone de confort considérée est le polygone rouge car il y a une vitesse d'air de l'ordre de 1m/s, ce qui « agrandit » la plage de confort. Les températures d'air maximales sont de l'ordre de 29°C mais la température ressentie par l'occupant est de 25°C grâce à la ventilation traversante. La surface des ouvrants placés sur la face sud et nord du bâtiment apporte une circulation d'air suffisante (porosité de 21%). Les façades affichent un facteur solaire de 0,05 traduisant une bonne protection solaire. La totalité des points sont situés dans la zone de confort de Givoni (polygone rouge).

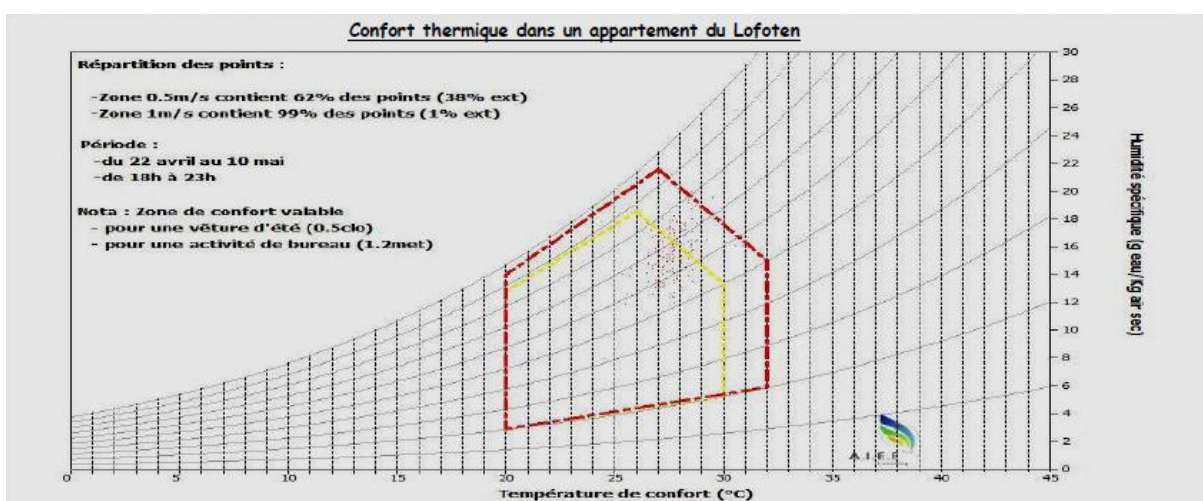


Figure 31: Confort thermique dans le logement traversant.



### II.1.3 Points à retenir

Concernant le confort thermique, le type de milieu a un impact significatif sur la température de l'air avec des écarts moyens nocturnes de l'ordre de -3°C si l'environnement est fortement végétalisé. **L'impact notable d'un environnement fortement végétalisé est de réduire l'effet de l'inertie thermique et les surchauffes** de plus de 6°C durant la journée.

Type de milieu	Ecart moyen jour	Ecart moyen nuit	Ecart Max jour	Ecart Max nuit
Milieu minéralisé/semi-minéralisé	+0,5°C	+1,5°C	+1,5°C	+2,5°C
Milieu semi-minéralisé/Végétalisé	+3°C	+2,5°C	+6°C	+3°C

Concernant le confort thermique dans les logements traversant et non traversant, on constate une différence de l'ordre de 1°C sur les températures d'air mais surtout un écart de 5°C sur les températures ressenties !

### *Impact sur certains indicateurs en matière des quartiers durables en milieu tropical*

Deux éléments ressortent de l'étude menée :

- **La végétalisation doit constituer une priorité** aux abords des bâtiments pour atténuer la chaleur (diminution de l'albédo et absorption de chaleur des surfaces minéralisées).
- **Le caractère traversant du logement** couplé à une bonne protection solaire est un indicateur prioritaire.

#### **La végétalisation**

Une végétalisation conséquente doit être réalisée à proximité des logements ou de tout type de bâtiments pour pouvoir profiter des conditions de fraîcheur de ces espaces. Plus précisément, il faudrait :

- privilégier une végétalisation périphérique autour des bâtiments avec une dimension à définir (exemple des 3 mètres de bande végétalisée pour PERENE) ;



*Figure 32: Type d'environnement à éviter : Absence de végétalisation couplée à une conception thermique des bâtiments non performante.*

- promouvoir la mise en place d'espaces verts dans le quartier pour abaisser la température globale et éviter les surfaces minéralisées et les matériaux absorbants (% surface d'espaces verts, % de surface non minéralisée, % de matériaux non absorbants, choix de matériaux et de couleur adéquate, linéaire arboré sur les voiries et les parkings) ;
- maximiser les espaces à l'ombre selon les heures de la journée (linéaire arboré et végétalisation conséquente, casquette, abris bus,..) ;



*Figure 33: A éviter : Des aires d'attente (arrêt de bus) non protégées*

- avoir une localisation des espaces végétalisés optimisée selon les vents ;
- éviter les espaces minéralisés comme les parkings extérieurs et préférer leur localisation sous-terrain.

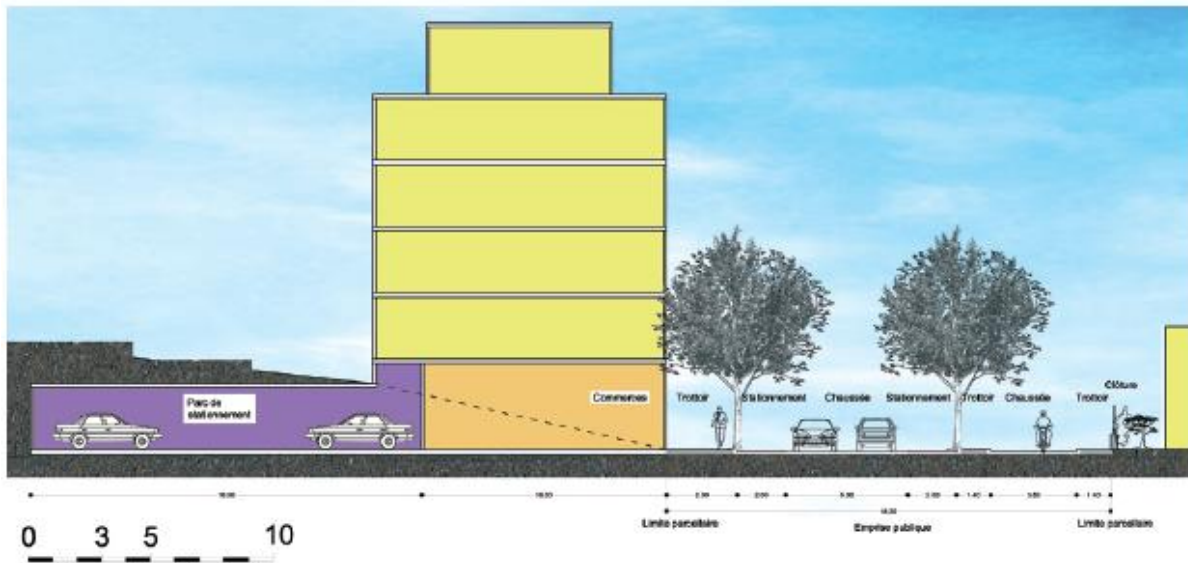


Figure 34: Principes de stationnement, de végétalisation et de circulation des cyclistes

### **La conception des bâtiments et le confort thermique dans les logements :**

Le logement doit être conçu de façon à avoir une circulation d'air et un transfert thermique minimum de l'extérieur vers l'intérieur. Plusieurs solutions sont possibles au regard des préconisations PERENE :

- Avoir un logement obligatoirement traversant.
- Garantir une protection efficace des façades, des ouvrants, des toitures, avec des couleurs et un choix de matériaux adéquat (à effectuer selon les facteurs solaires préconisé par PERENE).



Figure 35: Logement collectif des Bons Enfants (façade Sud).

Les protections solaires sont inexistantes ou non adaptées au climat tropical (utilisation des volets roulants à proscrire)

- Garantir une porosité minimale afin d'avoir une bonne circulation d'air (à effectuer selon le facteur solaire préconisé par PERENE).
- Mettre en place des formes urbaines pouvant bénéficier des vents et optimiser leur agencement et dimension (simulation et études aérauliques, porosité urbaine).
- Eduquer et apprendre aux locataires comment mieux utiliser leur logement, comment améliorer leur confort, comment éviter d'échauffer l'air intérieure.

Cette étude confirme les résultats obtenus en première partie et renforce l'argument en faveur d'une conception durable des formes urbaines, agissant à la fois sur le bâti et son agencement, afin d'obtenir un meilleur confort thermique qui, en climat tropical, consiste à un rafraîchissement de l'air et une baisse de la température.

## II.2 Calcul des émissions de gaz liées aux déplacements intra-quartier

Une deuxième thématique spécifique de cette étude concerne l'analyse des émissions de gaz liées aux déplacements intra-quartier. Elle permet d'approfondir l'analyse engagée dans l'axe 3 de la grille d'évaluation.

### II.2.1 Introduction

Les études s'intéressant au calcul des émissions de polluants dus au trafic routier se sont multipliées, durant ces dix dernières années. Les impacts locaux de certains polluants, tels que le monoxyde de carbone (CO) ou le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ont été largement documentés. Les concentrations des polluants dans l'air sont généralement déterminées en de nombreux points du territoire par des appareils de mesure fixes ou mobiles. Concernant les émissions dues à la circulation automobile (qui constitue une source importante d'émission de dioxyde de carbone et d'oxydes d'azote), elles sont généralement déterminées de manière spécifique grâce à différents modèles et outils. La connaissance des variables qui influent sur ces émissions présente un réel enjeu pour les prises de décisions en matière de transport.

Nous proposons une **estimation des émissions de dioxyde de carbone dues aux déplacements quotidiens des résidents** de deux quartiers de la ville de Saint-Pierre : le quartier de la Ravine-Blanche et le quartier de Terre Sainte. Ces deux quartiers sont limitrophes au centre ville de Saint-Pierre et ont une taille et structure d'habitat comparable. La méthodologie de recueil de données repose sur un échantillonnage par grappes dans chacun des deux quartiers, à raison de 30 questionnaires distribués aléatoirement dans chaque quartier.

### II.2.2 Méthodologie

#### *Les différentes approches*

Il existe dans la littérature, différents types d'approches pour l'étude du trafic routier, directement applicables au calcul des émissions de polluants (Nejadkoorki, 2008). Nous pouvons classer ces approches en trois grandes catégories :

Une première approche, à **macro-échelle (ou approche macroscopique)**, s'intéresse aux émissions de polluants à partir de la consommation totale de carburant, des vitesses

moyennes pratiquées et distances moyennes parcourues sur un espace assez important (une région, un pays) ainsi que sur une période assez longue (l'année généralement) (Nejadkoorki, 2008). Cette première approche ignore la variable « comportement individuel » et s'intéresse au réseau d'un point de vue global (Iordanova, 2006).

La seconde approche, à **micro-échelle (ou approche microscopique)**, bénéficie d'une résolution plus fine. Les modèles microscopiques de trafic s'intéressent au comportement individuel des véhicules et notamment aux relations inter-véhicules et également les interactions entre le véhicule et son environnement (Iordanova, 2006). Appliqués au calcul des émissions de polluants dus au trafic, ces modèles calculent les émissions à partir d'une série de données détaillées telles que le volume de trafic, les vitesses moyennes pratiquées par trajet, les distances, le type de véhicule, sur courte période (Nejadkoorki, 2009).

Enfin, la troisième et dernière approche, située au niveau intermédiaire, est l'**approche mésoscopique** (Enault, 2005). Plutôt que de s'intéresser au véhicule individuel, cette approche considère des groupes de véhicules caractérisés par les mêmes propriétés (Iordanova, 2006). En application aux émissions de polluants générés par le trafic, cela consiste, par exemple, à classer les véhicules selon leur puissance, selon les trajets effectués, etc.

### **Les différents modèles**

Il existe plusieurs modèles d'application pour le calcul des émissions de polluants dus au trafic routier :

- **le modèle COPERT** (COmputer Program to calculate Emission from Road Transport) mis en place par l'Agence Européenne pour l'Environnement et développé au sein de l'Université Aristote de Thessalonique (Grèce). Cette application est utilisée pour réaliser des inventaires d'émissions nationaux mais peut être calibrée sur des échelles spatiales et temporelles plus restreintes (Ntziachristos et Samaras, 2009 ; Lacour, 2003). Ce modèle est le plus utilisé au monde du fait de son accès libre.
- **le logiciel français IMPACT**, mis en place par l'ADEME (2003). Le logiciel IMPACT constitue une application française de la méthodologie COPERT. Cette application permet de calculer les consommations énergétiques ainsi que les émissions de polluants et de gaz sur « un brin de voirie » (c'est-à-dire un réseau sur lequel les différents flux possèdent des caractéristiques de circulation constantes, une vitesse moyenne, une pente donnée, etc.).
- **le modèle ARTEMIS** (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) qui est issu d'un programme européen ayant rassemblé une quarantaine de laboratoires de recherche. Ce programme avait pour but de faire une mise au point sur tous les outils de calcul et d'estimation des émissions de polluants dus au trafic routier (André, 2006).

Cette liste est évidemment non exhaustive et nous pouvons encore citer une multitude de logiciels et outils tels que SATURN qui cherche à modéliser le trafic pour estimer les émissions (Nejadkoorki, 2008) ou MEET (Methodology for calculating transport emission and energy consumption), mis en place par la Direction Générale des Transports de la Commission Européenne et inspiré par la méthodologie COPERT.

### Les différentes variables

Avant de présenter le modèle de calcul des émissions de polluants dus au trafic routier, une mise au point concernant un certain nombre de paramètres est nécessaire.

#### Les différents types d'émissions

On considère, en général, trois différents types d'émissions, correspondant à trois stades de fonctionnement du moteur. On distingue les émissions à chaud, les émissions à froid et les émissions par évaporation de carburant. Les émissions à chaud correspondent à un stade où l'état thermique du moteur et du catalyseur est considéré comme stable - c'est-à-dire que le moteur fonctionne à plein régime – tandis que les émissions à froid correspondent à un état où le moteur n'a pas atteint son fonctionnement « de croisière » (LADEME, 2003 ; Joumard, 2004 ; Sétra, 2009). Les émissions à froid sont considérées comme des surémissions par rapport aux émissions usuelles calculées lorsque le moteur fonctionne de manière optimale (Sétra, 2009).

La différence entre les émissions à froid et les émissions à chaud peut être appréhendée par un facteur de surémission appliqué aux émissions à froid (Lacour, 2003 ; Sétra 2009). Pour certains types de polluants dus au trafic routier, la prise en compte de ces émissions conduit à une nette différenciation des résultats obtenus.

	CO2	NOx	Particules	COV	Benzène	CO
Coef. de surémission	+12%	+6%	+45%	-	-	+15%
Facteur de surémission	-	-	-	X 1,7	X 1,7	-

Source : élaboration propre, inspirée de Lacour (2003)

Figure 36 : Importance de la prise en compte des surémissions à froid

Outre les émissions à chaud, à froid et par évaporation, on peut considérer les émissions causées par l'usure de la route, les émissions causées par l'usure des freins et des pneus et enfin les surémissions liées à la pente et à la charge (Ntziachristos et Samaras, 2009).

Dans le cadre de notre étude, nous souhaitons calculer les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dus au trafic quotidien des habitants des deux quartiers étudiés. Le mode de

transport visé est la VP (Voiture Particulière). Comme les facteurs de surémission liés à l'usure des freins, des pneus et de la route sont mal connus, nous pouvons nous concentrer sur les trois types d'émissions basiques, à savoir les émissions à chaud, à froid et par évaporation. Comme les émissions de CO<sub>2</sub> se font pour 91% à chaud et 9% à froid, nous pouvons écarter les émissions par évaporation.

Polluant	Emission à chaud	Surémission à froid	Evaporation
CO	50 %	50 %	-
COVNM	45 %	29 %	26 %
NOx	95 %	5 %	-
CO <sub>2</sub>	91%	9 %	-
PM	76 %	24 %	-
Benzène	48 %	45 %	7 %

Source : Lacour (2003).

*Figure 37: contribution (%) des types d'émission par polluants*

### **L'influence des cycles de conduite**

La vitesse pratiquée, liée à la conduite, joue un rôle important dans le calcul des émissions de polluants (Lacour, 2003 ; Ntziachristos et Samaras, 2009 ; Sétra, 2009). Dans la littérature, on distingue, en général, trois cycles de conduite principaux : urbain, route (ou rural) et autoroute qui correspondent à trois niveaux de vitesse différents et à trois niveaux d'émissions différents (Joumard, 1999). En ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, à trafic égal, sur l'autoroute elles sont de 10% supérieures aux émissions sur route et de 50% supérieures aux émissions en urbain (Lacour, 2003).

La littérature distingue également une différence des émissions selon le gabarit du véhicule. Pour le calcul des émissions de polluants dus aux Poids Lourds, le facteur pente doit être pondéré (Lacour, 2003, Sétra, 2009). De même, en fonction du polluant considéré, les émissions ont plus ou moins d'impact selon le gabarit du véhicule. On distingue quatre principales catégories de véhicules qui peuvent être subdivisées en sous catégories : les VP, les véhicules utilitaires légers (VUL), les poids lourds (PL) et enfin les cyclomoteurs.



## II.2.3 Construction du modèle

Bien qu'il existe un certain nombre de modèles d'émissions de polluants dus au trafic routier, ils admettent une formule de base qui repose sur l'équation :

$$E = e \times A$$

avec  $E$ , émission totale;  $e$ , l'émission unitaire et  $A$ , l'activité de trafic.

En application des différents types d'émissions, la formulation peut se faire sous la forme :

$$Total\ emission = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVAPORATIVE}$$

avec  $Total\ emission$ , les émissions totales de polluants dus au trafic routier :

$E_{HOT}$ , les émissions de polluants avec un moteur chaud,

$E_{COLD}$ , les émissions de polluants avec un moteur froid,

$E_{EVAPORATIVE}$ , les émissions de polluants par évaporation du carburant.

Dans le cadre de notre étude, en excluant les émissions par évaporation, nous obtenons :

$$Total\ emission = E_{HOT} + E_{COLD}$$

Nous nous intéressons exclusivement aux émissions de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) dues à la consommation de carburant et calculées selon la formulation suivante :

$$E_{CO_2,j} = 44,011 \times \frac{FC_{jm}^{CALC}}{12,011 + 1,008r_{H:C,m}}$$

avec  $E_{CO_2,j}$ , les émissions de  $CO_2$  pour les voitures de classe  $j$  ;

44,011 : la masse molaire du dioxyde de carbone ;

$FC_{jm}^{CALC}$  : la consommation calculée du carburant de type  $m$  pour le véhicule de classe  $j$  ;

12,011 : la masse molaire du carbone ;

1,008 : la masse molaire de l'hydrogène ;

$r_{H:C,m}$  : le ratio carbone/hydrogène pour le carburant de type  $m$ . Il se situe en général aux alentours de 1,8 pour l'essence et de 2 pour le diesel.

La dimension émission à froid est appréhendée comme une surémission ; elle est prise en compte, dans le modèle, par un coefficient de majoration des émissions à chaud :

$$E_{COLD} = (1 + a).E_{HOT}$$

avec  $a$ , coefficient de surémission. Ce coefficient de surémission est difficile à calculer mais il existe un certain nombre de travaux qui proposent une valeur empirique à ce coefficient. Ainsi, dans les travaux de l'INRETS, l'écart entre un scénario sans émission à froid et un scénario avec émission à froid pour des voitures particulières est de l'ordre de 18%.

On considère généralement qu'au premier kilomètre une VP va consommer 50% de carburant supplémentaire et donc « sur-émettre » du CO<sub>2</sub> à hauteur de 50% supplémentaire. A la Réunion, un VP roule, en moyenne, 4 km avant d'atteindre son régime de fonctionnement de croisière. Ainsi, nous allons appliquer une règle de calcul proportionnelle à la surémission de CO<sub>2</sub>.

	0 à 1 km	1 à 2 km	2 à 3 km	3 à 4 km	> 4km
Surémission	+50%	+36%	+22%	+11%	NC

Figure 38: Estimation des coefficients de surémission à froid

Dans le cadre de cette étude nous nous arrêtons à la distinction voiture particulière, véhicule utilitaire léger, véhicule lourd et cyclomoteur, sans définir les différentes catégories de VP (citadines, berlines, etc.) puisque nous disposons déjà des données sur la consommation d'essence. Enfin, concernant la prise en compte des vitesses, nous faisons face à des déplacements quasi-exclusivement urbains avec des quartiers en situation de contiguïté avec le centre ville et une moyenne d'environ 4 km parcouru par déplacements.

Pour conclure sur la construction du modèle, nous appliquons :

$$Total\ emission = E_{HOT} + E_{COLD}$$

avec

$$E_{HOT;CO_2;VP} = 44,011 \times \frac{FC_{VPm}^{CALC}}{12,011 + 1,008r_{H:C,m}}$$

et

$$E_{COLD;CO_2;VP} = a \cdot \left[ 44,011 \times \frac{FC_{VPm}^{CALC}}{12,011 + 1,008r_{H:C,m}} \right]$$

où  $E_{COLD;CO_2;VP}$  est valable sur les 4 premiers kilomètres parcourus

On prend les valeurs respectives de 1,5 ; 1,26 ; 1,22 et 1,11 pour les tranches de 0 à 1km, 1 à 2 km, de 2 à 3 km et de 3 à 4 km.

## II.2.4 Résultats

L'échantillon étudié dans chaque quartier est de l'ordre de 30 personnes qui ont donné des renseignements sur leur mobilité quotidienne durant une semaine hors week-end. Sur l'ensemble de l'échantillon étudié nous recensons au total 1,5 déplacement par jour avec 46% des déplacements effectués en voiture.

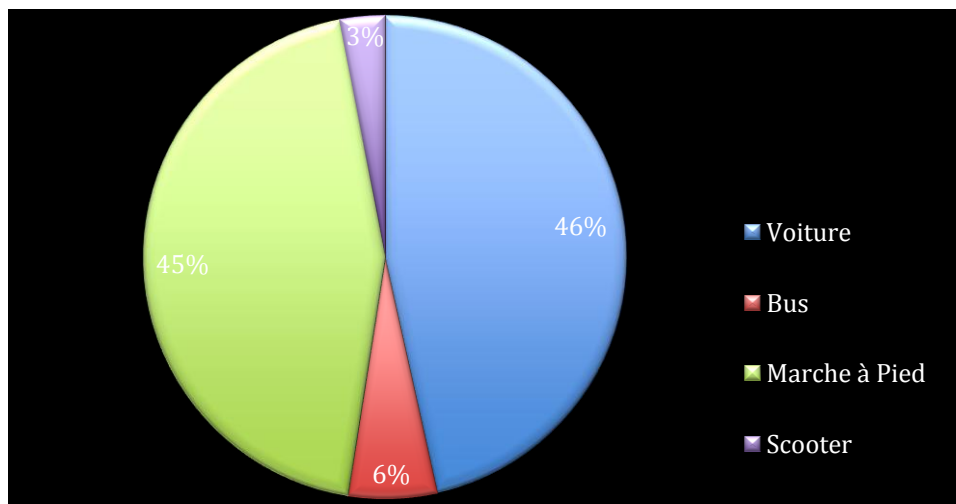


Figure 39 : Répartition modale des déplacements recensés sur l'échantillon

Une part importante des déplacements s'effectue à pied. Deux paramètres peuvent expliquer ce constat :

- la grande majorité des déplacements effectués est inférieure à 3 km.
- la population des deux quartiers est faiblement motorisée (42% des personnes interrogées ne disposaient pas de voiture).

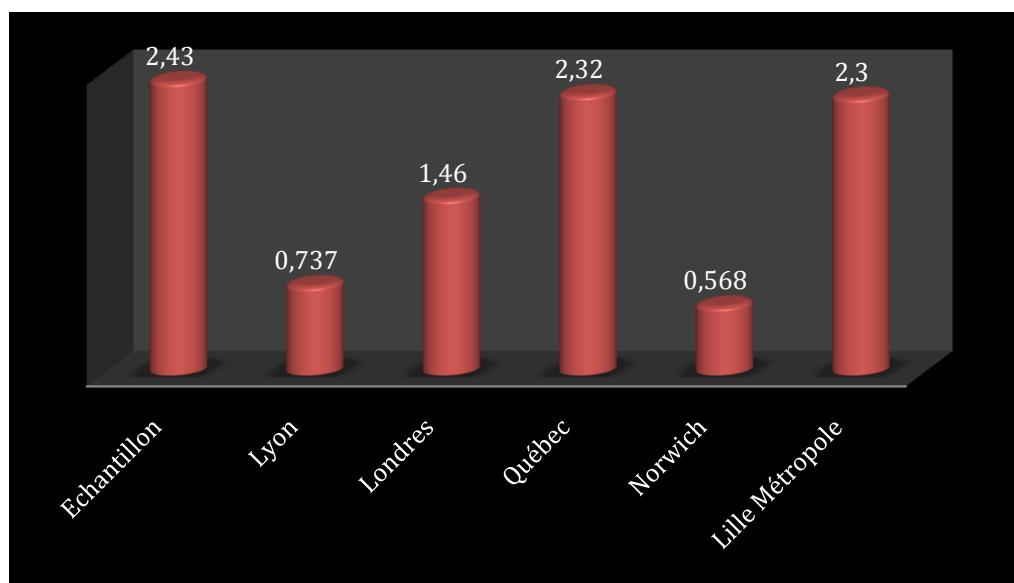
Nous considérons un total de 272 déplacements pour lesquels nous avons des informations complètes : la moyenne kilométrique par déplacements est de 4,6 km avec un minimum de 0,3 km parcourus. Concernant l'âge des véhicules de notre échantillon, nous disposons d'un parc assez vieux avec un âge moyen de 8 ans, ce qui laisse présumer des émissions assez élevées.

### Estimation des émissions de CO<sub>2</sub>

Sur les 272 déplacements identifiés, 1998079 g de CO<sub>2</sub> ont été rejetés dans l'air, soit 7 346 g de CO<sub>2</sub> par déplacement. Ce résultat est hebdomadaire : en considérant 5 jours dans la

semaine étudiée, nous obtenons des émissions journalières de l'ordre de 399616 g de CO<sub>2</sub> rejetés, soit **6 660 g de CO<sub>2</sub> émis par jour par habitant**.

Si les habitants de l'échantillon continuent d'émettre de façon similaire le reste de l'année, nous obtenons un total de 145,86 tonnes de CO<sub>2</sub> émises, soit 2,43 tonnes par habitants. **Les émissions quotidiennes annuelles de CO<sub>2</sub> des habitants de Terre Sainte et de la Ravine Blanche sont particulièrement élevées par rapport aux émissions des habitants de grandes ou même petites agglomérations.** Les prélèvements ont été faits en avril qui est un mois médian du point de vue des températures, ce qui signifie que nous avons une utilisation moyenne de la voiture (par rapport aux mois chauds peu propices aux déplacements à pied et caractérisés par une plus grande fréquence des déplacements motorisés).



Source : élaboration propre et Bouzouina et Nicolas, 2007, Peng et Weissenberg, 2009 Nejadkoorki, 2009

Figure 40 : Emissions de CO<sub>2</sub> en tonnes/habitants

**Nous constatons que malgré le faible taux de motorisation de la population, l'absence d'alternative efficace à la voiture dans les deux quartiers conduit à un taux d'émissions annuelles par habitant fort.** Par ailleurs, bien que 80,58% des déplacements soient inférieurs à 3 km, la préférence modale reste la voiture qui est le plus souvent assez âgée (moyenne d'âge des véhicules : + de 8 ans).

Comme dans le cas de l'étude du confort thermique, ces résultats confortent ceux des évaluations issues de l'application de la grille d'indicateurs. Ils montrent les grandes possibilités d'amélioration que peut apporter le projet de rénovation urbaine sur les modes de déplacement intra-quartier, en matière de consommation énergétique et pollution atmosphérique.

## II.3 Etude de la sensibilité écologique des ménages : Y a-t-il un effet « quartier » ?

La dernière thématique spécifique, développée dans ce rapport, concerne la mesure de la sensibilité écologique des habitants d'un quartier. Jusqu'ici, notre travail de recherche avait emprunté un angle d'analyse technique permettant de formuler des propositions d'amélioration du PLU, afin d'intégrer des préconisations d'urbanisme durable. Dans cette dernière sous-partie, nous nous interrogeons sur les effets de regroupement des habitants ayant une sensibilité écologique forte suite à la mise en place d'une politique urbaine locale favorable au développement durable. **La sensibilité à l'environnement est-elle un facteur qui se répartie aléatoirement sur le territoire ou y a-t-il un regroupement des individus ?**

### II.3 1 Méthodologie

Nous avons cherché à mesurer puis à caractériser la sensibilité à l'environnement des habitants de la commune de Saint-Pierre. L'enquête a concerné un échantillon extrait de l'ensemble de la population de la commune. Nous avons d'abord testé les facteurs explicatifs de la « sensibilité à l'environnement » des habitants en proposant un modèle global, enrichi par la suite par l'introduction de l'appartenance spatiale (par quartier). Puis, nous avons proposé une analyse d'auto-corrélation spatiale afin de voir s'il y a des regroupements spatiaux des habitants avec un niveau de sensibilité et/ou conscience écologique identiques.

#### *Le questionnaire*

Le but du questionnaire est **d'affecter une note à la personne interrogée traduisant sa sensibilité à l'écologie et à l'environnement**. Les habitants ont été interrogés sur leur connaissance et leur intérêt sur des questions environnementales. Nous avons cherché à vérifier si chaque personne faisait les gestes élémentaires en faveur de l'environnement, tels que le tri des déchets, la surveillance de la consommation d'énergie, la limitation des déplacements polluants, puis à dissocier son comportement de ses intentions. Un individu peut, ainsi, être très sensible aux questions environnementales mais ne peut pas toujours effectuer les gestes adéquats pour des raisons diverses telles que l'ignorance ou la disponibilité. La note environnementale est, par la suite, mise en relation avec les caractéristiques socioculturelles de chaque personne.

Le questionnaire final comporte 23 questions :

1. Habitez-vous ce quartier ?  Oui  non
2. Vous vous sentez concerné(e) par la protection de l'environnement ?  
Pas du tout = 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 = totalement
3. Pouvez-vous citer 3 gestes que vous faites régulièrement en faveur de la protection de l'environnement ?  
Nombre : ..... Temps: ..... Sec.
4. Pouvez-vous citer 3 noms de personnes, d'associations ou d'organismes qui œuvrent en faveur de l'environnement ?  
Nombre : ..... Temps: ..... Sec.
5. Effectuez-vous le tri de déchets ?  
 tout le temps  souvent  quand j'y pense  rarement  jamais
6. Pouvez-vous citer 3 produits précis à mettre dans la poubelle jaune :  
Nombre : ..... Temps: ..... Sec.
7. Effectuez-vous le tri du verre?  
 tout le temps  souvent  quand j'y pense  rarement  jamais
8. Où jetez-vous vos piles  
 poubelle  bac jaune  poubelle réservée  autre
9. Etes-vous équipé en « lampes éco » ?  
 100%  75%  50%  25%  0%
10. Lors de l'achat d'un appareil électrique, classez selon vos préférences les critères suivants :  
..... l'esthétique ..... le prix  
..... la consommation ..... la performance
11. Quand-vous ne regardez pas votre télévision, elle est en mode :  éteint  veille
12. Prenez –vous en général :  des douches rapides  
 des douches longues  des bains
13. Si vous aviez le choix et les moyens, quelle voiture achèteriez-vous?  
 une citadine  une berline  une sportive  un 4x4  autre
14. Consommez-vous des produits « BIO » ?  
 tout le temps  souvent  quand j'y pense  rarement  jamais
15. Consommez-vous des produits « PAYS » ?  
 tout le temps  souvent  quand j'y pense  rarement  jamais
16. Utilisez-vous des produits ménagers biodégradables ?  
 tout le temps  souvent  quand j'y pense  rarement  jamais
17. Sexe :  Homme  femme
18. Quel âge avez-vous ?  moins de 18  18-24  25-34  
 35-44  45-54  55-64  65 et plus
19. Combien de personnes vivent dans votre foyer ? ..... pers.
20. Quel est votre niveau d'études ?  brevet  
 bac  bac + 2 (ou 3)  bac + 5 (ou 8)
21. Quelle est votre catégorie socioprofessionnelle ?  
 Cadre  profession intermédiaire  ouvrier  technicien  
 artisan  agriculture  sans emploi  retraité  autre .....
22. Vos revenus se situent dans quelle tranche ?  - 800 €  
 800 – 1500 €  1500 – 2500 €  + de 2500 €
23. Adresse d'habitation ? .....

## L'échantillonnage

L'étude s'appuie sur un échantillon empirique de 250 individus. L'unité spatiale de base est le quartier.

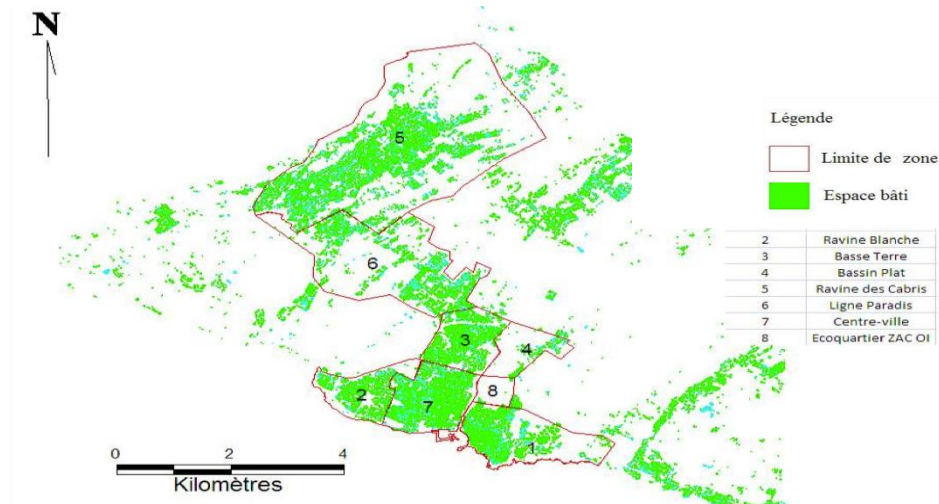


Figure 41 : Délimitation des quartiers de l'étude

Cependant, pour une analyse plus fine et notamment pour étudier l'auto-corrélation spatiale, il semble plus pertinent de considérer un espace continu. Un découpage de 18 zones, respectant les frontières des quartiers, a été conçu et concerne la zone bâtie sans discontinuité. Cela a entraîné l'exclusion de Bassin Plat et de la Ravine des Cabris, deux quartiers éloignés et isolés du reste de la ville.

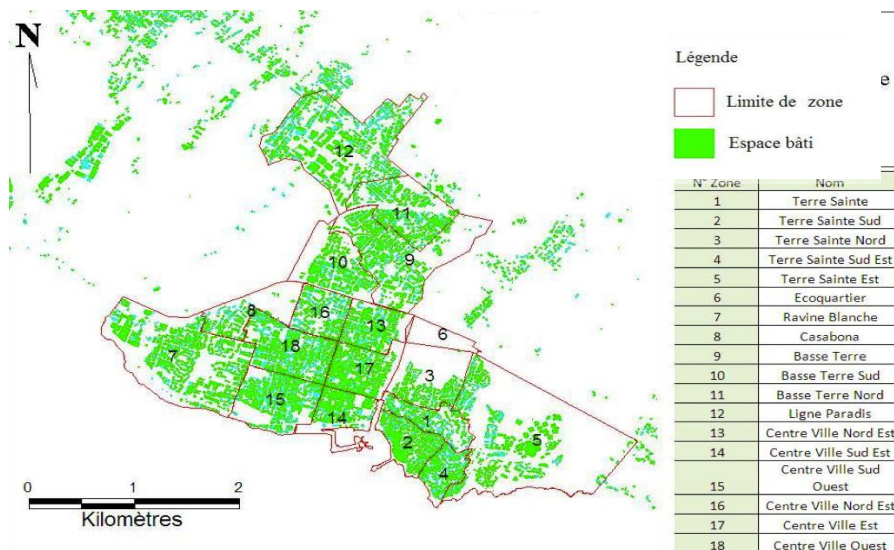


Figure 42 : Délimitation des 18 zones de l'espace bâti continu

Les coordonnées géographiques des personnes interrogées ont été repérées par GPS. Un travail de conversion de coordonnées entre systèmes de projection utilisé par Google Earth® (WGS84) et système de projection utilisé par la plupart des utilisateurs de SIG à La Réunion (UTM 40 Sud) a été effectué avec le logiciel Circé 2000 pour La Réunion® de l'IGN.

Après traitement et homogénéisation des données, on obtient un échantillon de 247 individus au total, avec 183 individus pour l'espace bâti continu.

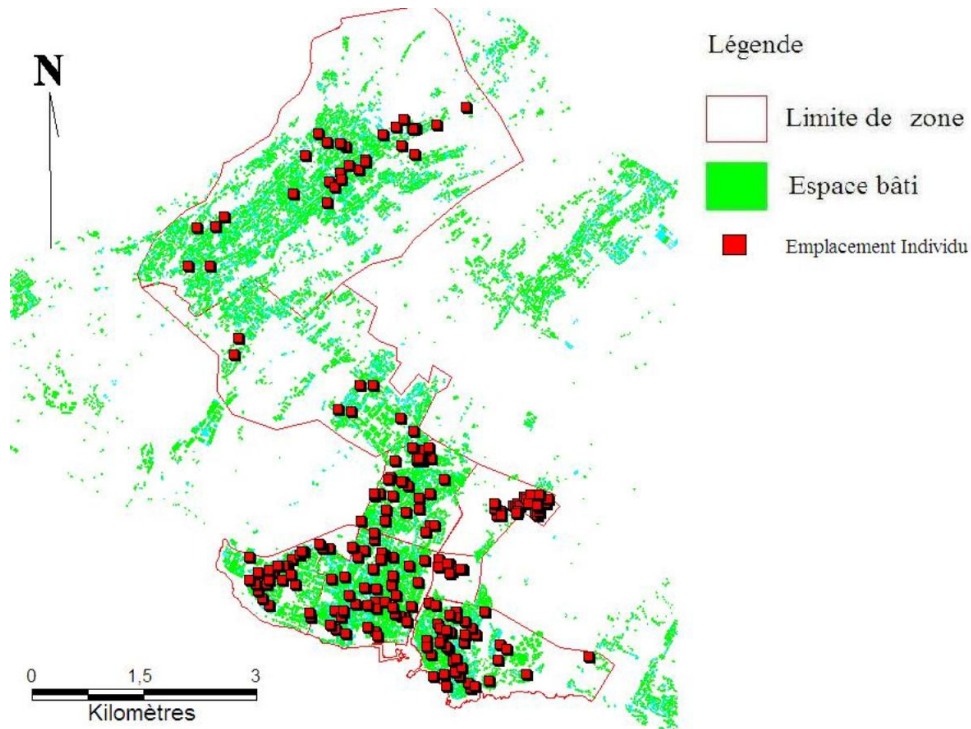


Figure 43 – Emplacement des individus interrogés

### **Evaluation de la « sensibilité à l'environnement »**

Parmi les 21 variables du questionnaire, 14 permettent de construire la variable « note » qui évalue la sensibilité à l'environnement. Les autres variables (sexe, âge, nombre de personnes dans le foyer, niveau d'étude, salaire, CSP) sont considérées comme des variables explicatives. La variable « note » est une valeur numérique comprise entre 0 et 10, calculée à partir des notes obtenues pour les variables mesurant la sensibilité de l'individu à l'environnement. Ces dernières ont été pondérées par un coefficient, selon leur importance.



	Code	Description	Coefficient
	EVAL_PERSO	Evaluation personnelle à la protection de l'environnement	
Variable "note"	NB_GESTE	Connaissance des gestes en faveur de la protection de l'environnement	1,5
	PAO	Connaissance de personnes, associations ou organismes œuvrant pour la protection de l'environnement	2
	DECHET	Fréquence du tri des déchets	1
	PJ	Nombre de déchets à mettre dans une poubelle jaune	1
	VERRE	Fréquence de dépôt des verres usagés à la borne à verre	1,5
	PILE	Endroit où sont jetées/déposées les piles usagées	2
	LAMPECO	Pourcentage de lampes " basse consommation" installées dans l'habitation	1,5
	CONSO	Critères d'achat d'un appareil électroménager	1,5
	TV	Mode de la télévision lors de l'absence des occupants de l'habitation	0,5
	EAU	Option d'utilisation choisie généralement par l'habitant lors de sa toilette	1
	AUTO	Type de véhicule choisi sans considération de la contrainte financière	1,5
	BIO	Fréquence de consommation de produits "BIO"	2
	PAYS	Fréquence de consommation de produits "Péi"(locaux)	1
MENAGER	Fréquence de consommation de produits ménagers biodégradables	2	
variables explicatives	SEXE	Sexe de la personne	
	NB_PERS	Nombre de personne vivant dans l'habitation	
	ETUDE	Niveau d'étude de l'individu	
	CSP	Catégorie socioprofessionnelle de l'individu	
	AGE	Age de l'individu	
	REVENU	Fourchette de revenu de l'individu	

Figure 44 : Variables de l'étude

La relation entre la variable expliquée et les variables explicatives a été analysée avec les outils économétriques standards. Le modèle utilisé est le modèle de régression linéaire multiple :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + u$$

avec  $Y$  la note,  $X_i$  les variables explicatives,  $\beta_i$  leurs coefficients et  $u$  le résidu.

La variable dépendante « note » est influencée non seulement par des variables quantitatives (âge, salaire) mais aussi par des variables qualitatives ou nominales (sexe,

quartier, CSP, niveau d'étude). Ces dernières ont été intégrées sous forme de variables muettes (dummies).

Enfin, en ce qui concerne l'auto-corrélation spatiale, notre étude s'appuie sur les tests de Moran et de Geary. La matrice de poids utilisée est une matrice de distance (Schaffar, 2008).

## II.3.2 Résultats : le quartier d'appartenance joue un rôle déterminant

### Sensibilité écologique des habitants par quartier : les tests ANOVA

Les figures suivantes donnent les notes des habitants par quartier et par zone.

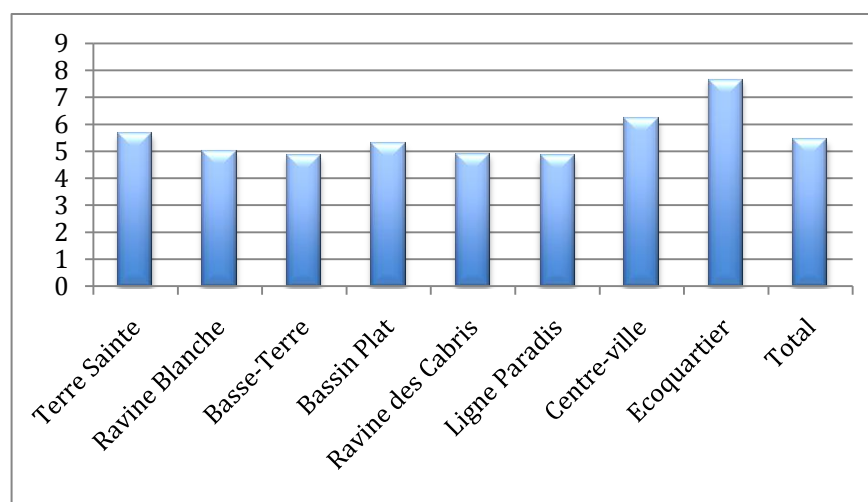


Figure 45 : Note moyenne par quartier

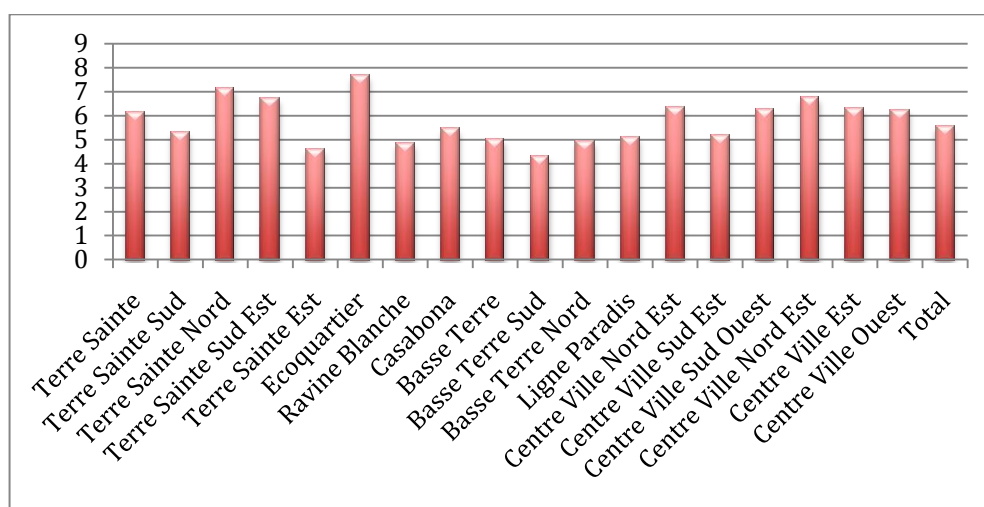


Figure 46 : Note moyenne par zone

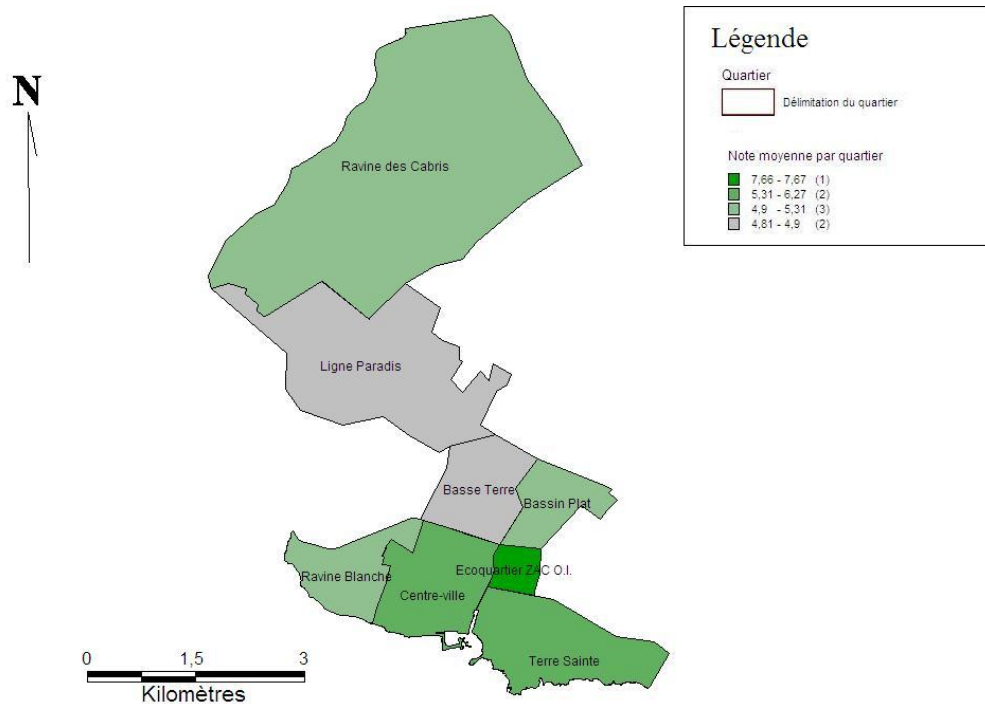


Figure 47 : Note moyenne par quartier

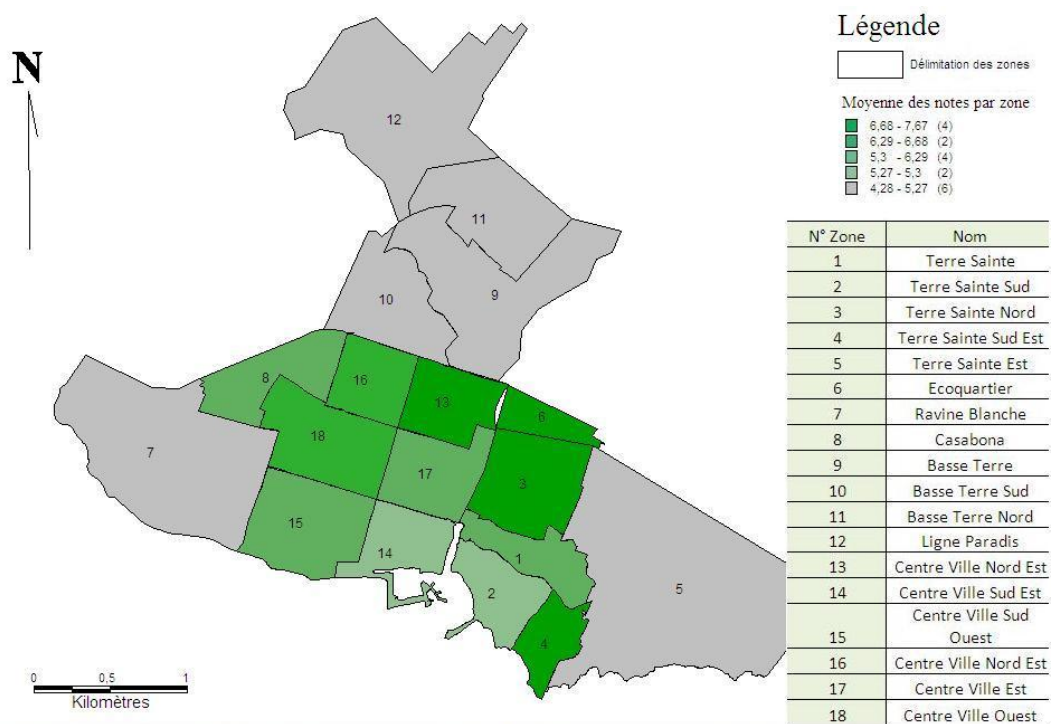


Figure 48 : Note moyenne par zone

Les notes pour les quartiers varient entre 4,82 (Ligne Paradis) et 7,66 pour la ZAC Océan Indien (qui est un prototype d'éco-quartier tropical, en construction à la limite de Terre-Sainte). Les écarts des notes par zone sont quasi-identiques, avec la zone de Basse-Terre Sud qui enregistre la note la plus basse (4,45) et l'éco-quartier la note plafond (7,66). Bien que ces écarts ne soient pas très importants, l'étude ANOVA montre **une différenciation significative des notes des habitants selon les quartiers et/ou les zones**. Par contre, les écarts-types des notes à l'intérieur de chaque quartier sont relativement peu élevés, ce qui indique **une certaine homogénéité des habitants au sein de chaque quartier, quant à leur comportement écologique**.

### *Lien entre la note écologique et les études, le revenu et le lieu d'habitation*

Divers tests ont été réalisés sur les 2 échantillons (quartiers et zones) pour la détection d'un lien entre la note et les autres variables explicatives.

Note x	Echantillon		Test utilisé
	Total	espace bâti continu	
Quartier/Zone	lien	lien	ANOVA
CSP	lien	lien	ANOVA
Age	pas de lien	pas de lien	Régression
Etude	lien	lien	ANOVA
Sexe	pas de lien	pas de lien	Student
Revenu	lien	lien	Régression

*Figure 49 : Liens entre les variables*

Les variables explicatives significatives de la note sont la zone ou le quartier d'habitation, la catégorie socioprofessionnelle de l'individu et son niveau d'études et de revenu.

Deux séries de régressions ont été effectuées : la première tient compte du découpage par quartiers (régression 1) et la seconde du découpage par zones (régression 2). Les résultats ci-dessous affichent seulement les variables dont les coefficients sont non nuls, selon le test de Student (Sig<0.05).

Model Summary<sup>o</sup>

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
,561 <sup>n</sup>	,315	,291	1,40611	1,811

Coefficients<sup>a</sup>

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	5,074	,235		21,556	,000
Revenu	,001	,000	,264	3,503	,001
ETU3	,805	,275	,192	2,922	,004
ETU4	1,189	,451	,202	2,635	,009
Q2	-,908	,307	-,193	-2,961	,003
Q3	-,959	,261	-,244	-3,677	,000
Q6	-1,069	,424	-,171	-2,518	,013

a. Dependent Variable: Note

Figure 50 : Régression 1.

Le modèle proposé est le suivant :

$$\text{Note} = 5.074 + 0.001 \text{ REVENU} + 0.805 \text{ ETU3} + 1.189 \text{ ETU4} - 0.908 \text{ Q2} - 0.959 \text{ Q3} - 1.069 \text{ Q6}$$

ETU 3 = 1 si le niveau d'étude est Bac+2/Bac+3, 0 sinon.

ETU 4 = 1 si le niveau d'étude est Bac+5 ou plus, 0 sinon.

Q2 = 1 si l'individu fait partie de la Ravine Blanche, 0 sinon.

Q3 = 1 si l'individu fait partie de Basse Terre, 0 sinon.

Q6 = 1 si l'individu fait partie de la Ligne Paradis, 0 sinon.

Nous remarquons que le fait d'habiter dans un des trois quartiers de Ravine Blanche, Basse Terre ou Ligne Paradis a une influence sur la note de l'habitant : on enregistre, en moyenne, la perte d'un point sur la note finale si l'habitant est domicilié dans un de ces quartier. Ceci est particulièrement contraignant dans le cas de la Ravine Blanche, car il conduit à conclure que la population locale n'est pas nécessairement consciente des enjeux écologiques de l'opération de rénovation urbaine en cours.

Nous avons effectué la même démarche en considérant les zones d'habitation.

Model Summary<sup>v</sup>

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
,637 <sup>u</sup>	,406	,368	1,32818	2,039

Coefficients<sup>a</sup>

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	4,129	,213		19,371	,000
Revenu	,001	,000	,227	2,851	,005
Z1	1,357	,463	,176	2,929	,004
Z3	2,019	,521	,233	3,879	,000
Z4	1,715	,558	,183	3,075	,002
Z6	1,238	,515	,169	2,404	,017
Z15	1,085	,467	,141	2,322	,021
Z16	1,410	,463	,183	3,047	,003
Z17	1,020	,522	,117	1,954	,052
ETU3	,938	,283	,224	3,319	,001
ETU4	1,421	,427	,241	3,333	,001

a. Dependent Variable: Note

Figure 51 : Régression 2

Le modèle proposé est le suivant :

$$\text{Note} = 4.129 + 0.001 \text{ REVENU} + 0.938 \text{ ETU3} + 1.421 \text{ ETU4} \\ + 1.357 \text{ Z1} + 2.019 \text{ Z3} + 1.715 \text{ Z4} + 1.238 \text{ Z6} + 1.085 \text{ Z15} + 1.41 \text{ Z16} + 1.02 \text{ Z17}$$

Comme dans le cas précédent, le revenu et les niveaux d'étude élevés jouent un rôle prépondérant. En ce qui concerne les « *dummies* » spatiales, elles permettent d'affiner le modèle précédent, sans néanmoins apporter un changement fondamental. Habiter dans les zones comprises dans les trois quartiers Ravine Blanche, Basse Terre et Ligne Paradis conduit à une baisse de la note de sensibilité écologique de l'habitant.

De façon globale, les résultats dans les deux régressions, confirment la prépondérance **du lien entre le niveau d'études, le revenu, le lieu d'habitation et la note de sensibilité à l'écologie**. Il est, de ce fait, évident qu'il y a un **phénomène d'auto-corrélation spatiale**, c'est à dire que les habitants avec le même niveau d'étude et de revenu habitent les mêmes quartiers et ont une sensibilité identique ou proche en matière d'environnement.

## Auto-corrélation spatiale : la « centralité de la sensibilité écologique »

Nous proposons de tester l'existence d'une éventuelle auto-corrélation spatiale des notes écologiques obtenues pour les habitants de la ville de Saint Pierre. Nous utilisons les tests de Geary et de Moran ainsi que les LISA (Local Indicator of Spatial Autocorrelation).

La valeur obtenue pour le test de Moran est  $I=0,13$  ( $pvalue=3.022e-05$ ). Le test de Geary affiche des résultats quasi-similaires ( $C=0,85$  avec une  $pvalue=9.015e-05$ ). Ces résultats montrent clairement l'existence d'une auto-corrélation spatiale positive. Ceci signifie que les individus, avec une même note écologique, bonne ou mauvaise, ont tendance à se regrouper.

La première carte ci-dessous, créée grâce aux LISA, indique la localisation des habitants ayant une note écologique élevée qui sont entourés d'autres habitants ayant une note élevée. Ces habitants se trouvent aux quartiers et zones centraux.

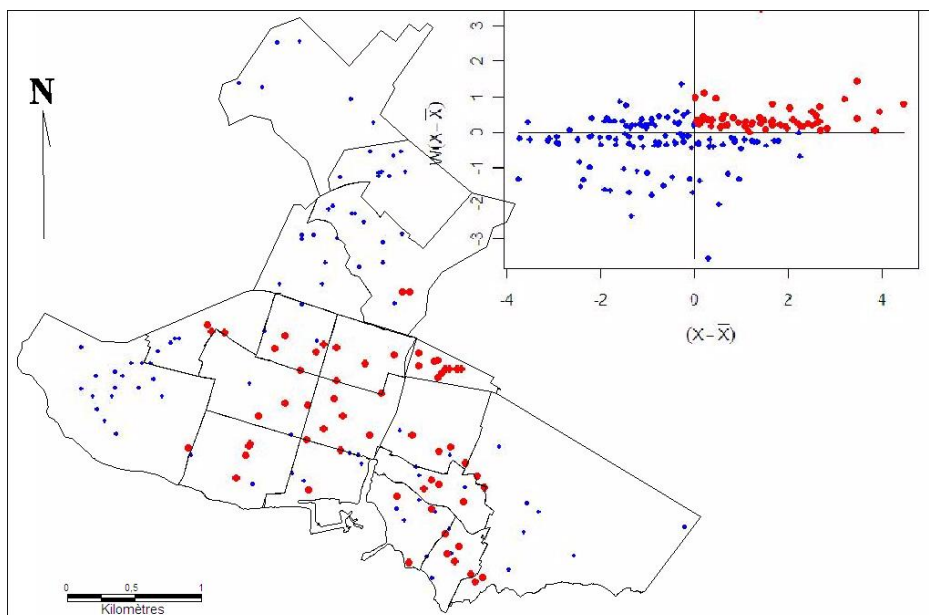


Figure 54. Répartition des individus dont la note élevée est spatialement corrélée.

La carte suivante indique la localisation des habitants de Saint Pierres ayant une faible note écologique et entourés d'habitants ayant également une note faible. De façon évidente, ces individus se trouvent dans les zones périphériques de la ville.

De façon globale, on obtient un **contraste net entre les espaces centraux dans lesquels vivent les habitants avec une sensibilité écologique forte et les espaces périphériques où la note des habitants est plus faible**. Notons, à cet égard, que la Ravine Blanche qui affiche une note moyenne relativement faible (5,01) appartient dans cette dernière catégorie.

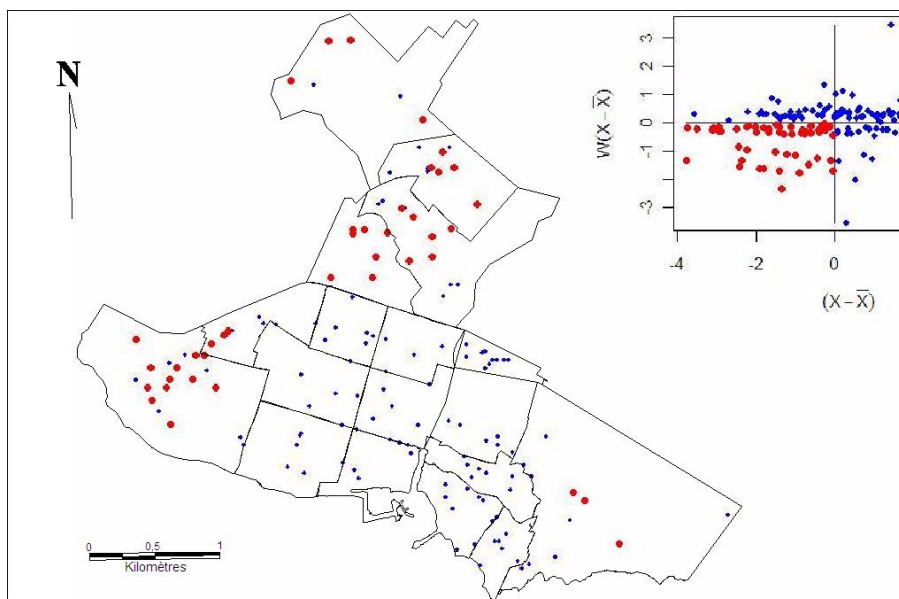


Figure 55 : Répartition des individus dont la note faible est spatialement corrélée

### II.3.3 Conclusion

Cette dernière thématique étudiée conduit à deux conclusions :

- il y a une **distribution spatiale différenciée de la sensibilité écologique des habitants** de Saint Pierre, selon les quartiers et/ou les zones d'habitat ;
- il y a une **forte corrélation entre d'une part le niveau d'études et le revenu de l'individu et d'autre part sa note écologique.**

La Ravine Blanche, quartier visé par l'opération de Rénovation Urbaine, affiche une note moyenne relativement faible par rapport aux autres quartiers. Elle s'explique par le fait que sa population est économiquement fragile, avec un taux de chômage et de RMIstes important et avec un taux d'échec scolaire élevé. Est-ce que la Ravine Blanche peut devenir un quartier durable tropical, dans le sens d'une prise de conscience de ses habitants des impératifs écologiques et des besoins d'économie d'énergie qui sont prévus par les aménagements liés à la rénovation urbaine ? La réponse ex-ante n'est pas évidente. De façon évidente, si la population locale n'épouse pas les objectifs de la municipalité en termes de développement durable, l'opération de la rénovation urbaine ne saura inscrire ses résultats dans le long terme.

Cette question renvoie à une réflexion générale : est-ce qu'une opération de rénovation urbaine peut atteindre pleinement des objectifs de développement durable dans un **quartier socialement et économiquement fragile**, comme c'est le cas de nombreux espaces urbains en milieu tropical ? Il semble évident qu'il faut, d'une part, **hiérarchiser les objectifs** à atteindre et, d'autre part, engager un **processus long d'apprentissage** aux gestes de développement durable, adapté aux quartiers socialement défavorisés.



## CONCLUSION GENERALE

---

Cette étude a cherché à analyser la formation des quartiers durables tropicaux. Elle a été construite en deux temps :

- dans un premier temps, elle propose **la construction d'une grille d'évaluation des projets d'urbanisme durable en milieu tropical**. Cette grille peut être adaptée à la plupart des DOM-TOM ainsi qu'à un ensemble d'espaces urbains appartenant dans les mêmes zones climatiques et géomorphologiques.
- dans un deuxième temps, elle engage une analyse plus fine de trois thématiques importantes pour la mise en place d'un quartier durable tropical : **le confort thermique, les émissions de gaz liées aux déplacements intra-quartiers et la spatialisation de la sensibilité écologique des habitants**.

Ce travail s'appuie essentiellement sur l'étude de la Ravine Blanche, un quartier de la ville de Saint Pierre qui fait l'objet d'une opération de rénovation urbaine. A travers une **démarche Recherche Action**, les chercheurs impliqués dans cette étude ont procédé à une analyse de la durabilité de ce quartier, dans son état actuel et dans son état futur à l'issue de l'opération de rénovation urbaine. Un certain nombre de propositions concrètes ont été formulées en termes de modification du PLU, afin d'intégrer des préconisations de développement durable.

En résumant, schématiquement, ce travail a permis de :

- mener une réflexion concernant la durabilité urbaine appliquée aux espaces tropicaux ;
- synthétiser cette réflexion sous forme d'indicateurs, donnant lieu à la conception d'une grille d'indicateurs de développement durable en milieu urbain tropical ;
- apporter une étude fine sur le confort thermique en milieu urbain tropical, en montrant que l'amélioration de ce confort passe par une double action sur le bâti et sur son agencement ;
- étudier les émissions de gaz pour les déplacements intra-quartier, en tenant compte des spécificités du climat tropical ;
- enfin, s'interroger sur la sensibilité écologique des habitants en montrant les limites qui peuvent apparaître dans les projets d'urbanisme durable dans les milieux économiquement et socialement fragiles.

L'étape suivante est l'évaluation ex-post des projets d'urbanisme durable, en utilisant et en améliorant la grille d'indicateurs construite.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- ADEME Bilan Carbone Entreprises-Collectivités-Territoires, Guide méthodologique, version 6.0, objectifs et principes de comptabilisation, disponible sur : [http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=BA0F1A974930106E7901C928F1E2D07C12442\\_04345584.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=BA0F1A974930106E7901C928F1E2D07C12442_04345584.pdf)
- ADEME Bilan Carbone Entreprises et Collectivités. Complément au guide des facteurs d'émissions v 5.0 pour les DOM, la Corse et la Nouvelle Calédonie. Disponible sur : [www2.ademe.fr/servlet/getBin?name.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name.pdf).
- ADEME Emissions réelles-Logiciel IMPACT, disponible sur <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13708>
- ADEME La méthode Bilan Carbone, pour comptabiliser vos émissions de gaz à effet de serre, disponible sur : [http://www.ecopartners.fr/pdf/Bilan\\_Carbone.pdf](http://www.ecopartners.fr/pdf/Bilan_Carbone.pdf)
- ADEME Transports chiffres clés, disponible sur : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12576>
- ADEME, Logiciel IMPACT-ADEME Version 2.0, Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière, 2003.
- ADEUS, Enquête Ménages Déplacements dans l'agglomération de Strasbourg, Observatoire départemental des déplacements, 2009.
- Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole, Gaz à effet de serre émis par l'habitation et les déplacements des ménages : Exemple d'un ménage de 3 personnes habitant un logement de 100 m<sup>2</sup> à Lille Métropole, Note 2008-3, 2008.
- Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole, Lille métropole : pour un renouvellement urbain durable – 2<sup>ème</sup> étape de la recherche : Guide méthodologique, février 2005.
- Agence Régionale Pour l'Environnement Midi-Pyrénées, Indicateurs du développement durable urbain – Présentation et description des indicateurs, 2002.
- André et al., Traffic characteristics for the estimation of pollutant emissions from road transport, ARTEMIS WP1000 Research Project, INRETS-LTE, 2006.

- Bouzouina L., Nicolas J.-P., Empreinte Ecologique liés à la mobilité locale : application aux quartiers Mas du Taureau-Pré de l'Herpe, Rapport LET, Mission Ecologie du Grand Lyon, 2007.
- CERTU, Prendre en compte le développement durable dans un projet – Guide d'Utilisation de la grille RST02, ISBN: 2 -11-096242-9 ; 2006
- Cherqui F., Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier – Méthode ADEQUA, Thèse de doctorat, Université de La Rochelle ; 2005.
- Commune de Saint Pierre, 2006, Programme de rénovation urbaine du quartier de Ravine Blanche – Etude Urbaine, Novembre 2006.
- CSTB, HQE2R : Développement durable à l'échelle des quartiers, présentation disponible sur le site internet du CSTB, à l'adresse suivante : [http://interbat.cstb.fr/article3.asp?id\\_une=104](http://interbat.cstb.fr/article3.asp?id_une=104), 2010.
- Desmeutes V., Emissions de GES par le trafic routier, point sur les outils de calcul des émissions CETE Normandie-centre Ministère de l'écologie, 2009.
- Dimou M., La formation des hiérarchies urbaines dans les régions ultra-périphériques. Le cas de La Réunion, *Canadian Journal of Regional Science*, 29 (2), pp.221-238., 2006.
- Febiac G., Guide CO2 : Les émissions de CO2 : Ou se situe le transport, disponible sur : [http://www.febiac.be/public/dossiers\\_environnement.aspx?lang=FR](http://www.febiac.be/public/dossiers_environnement.aspx?lang=FR)
- Garde F., David M., Ottenwelter E. Lenoir A., Performances énergétiques des bâtiments à La Réunion. Mise à jour 2009, Document téléchargeable à [www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf\\_PERENE\\_2009.pdf](http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf_PERENE_2009.pdf)
- Gkatzoflas D., Kouridis C., Ntziacristos L., Samaras Z., COPERT 4, computer programme to calculate emissions from road transport. Disponible sur : <http://lat.eng.auth.gr/copert/files/tech01.pdf> .
- Hubert J-P., Dans les grandes agglomérations, la mobilité quotidienne des habitants diminue et, elle augmente ailleurs, juillet 2009, n°1252, INSEE PREMIERE, 2009
- Hugrel C., Joumard R., Transport routier - Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025, Rapport LTE n° 0420, INRETS, ADEME, 2004.
- Iordanova N., Contribution à la modélisation et la commande du trafic routier : approches par Bond Graph et commande par platitude, Thèse de doctorat, Université d'Artois, 2006.
- Joumard R. et al., Influence du cycle de conduite sur les émissions unitaires de polluants des

voitures particulières, Rapport n°LTE 9902, 1999.

Lacour S., Intercomparaison d'outils et de méthodes d'inventaires d'émissions d'origine routière, ENPC-CEREA, ADEME, 2003.

Nejadkoorki F. et *al.*, An approach for modelling CO<sub>2</sub> emissions from road traffic in urban areas, Science of The Total Environment, 406(1–2), pp. 269–278, 2008.

Ntziachristos L., Samaras Z., COPERT III, Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and Emission factors (version 2.1), ETC/AEM, Technical report n°49, 2000.

Peng C., Weissenberg S., CO<sub>2</sub>, Kyoto et nous : un bilan carbone pour la ville (Partie 2), Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, Franc Vert Le Webzine Environnemental, Été 2009 Vol. 6 n°2, 2009.

Perez S., La vigne et la ville : forme urbaine et usage des sols, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux IV, 2007.

Schaffar A., Income inequalities, urbanisation and regional development in China, Région et Développement, 28, pp.132-156, 2008.

Sétra CETE Lyon, Emissions routières de polluants atmosphériques : Courbes et facteurs d'influence, Note d'information, Economie Environnement Conception, 2009.

Tabaka K., Vers une nouvelle socio-géographie de la mobilité quotidienne. Etude des mobilités quotidiennes des habitants de la région urbaine de Grenoble, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2009.