



**HAL**  
open science

# Formes urbaines et transport en milieu insulaire : l'exemple de La Réunion

Fiona Bénard

► **To cite this version:**

Fiona Bénard. Formes urbaines et transport en milieu insulaire : l'exemple de La Réunion. Architecture, aménagement de l'espace. Université de la Réunion, 2012. Français. NNT : 2012LARE0020 . tel-01086109

**HAL Id: tel-01086109**

**<https://theses.hal.science/tel-01086109>**

Submitted on 22 Nov 2014

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

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

Université de La Réunion

**Ecole Doctorale Sciences Technologies et Santé**

UFR Sciences de l'Homme et de l'Environnement

*Laboratoire PIMENT (Physiques et Ingénierie Mathématique pour l'Energie et l'environneNT)*

# **Formes urbaines et transport en milieu insulaire**

*L'exemple de La Réunion*

par Fiona Bénard

Thèse pour le grade de docteur en Aménagement de l'espace et  
Urbanisme

Soutenue publiquement le 5 décembre 2012

Membres du jury :

**Mme Anne Aguiléra**, chercheur au Laboratoire Ville Mobilité et Transport- Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, Docteur-HDR en Aménagement

**M. Michel Dimou**, Professeur en Economie à l'Université du Sud Toulon Var

**M. Pierre Frankhauser**, Professeur en Aménagement à l'Université de Franche Comté, *rapporteur*

**M. Jean Claude Gatina**, Professeur en Mécanique à l'Université de La Réunion, *co-directeur de la thèse*

**M. Maurice Goze**, Directeur de l'Institut d'Aménagement de Tourisme et d'Urbanisme, Professeur en Aménagement, *Rapporteur*

**M. Dominique Mignot**, directeur scientifique adjoint à l'IFSTTAR, Docteur-HDR en Aménagement, *co-directeur de la thèse*

# Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu, M. Dominique Mignot pour m'avoir accordé sa confiance et son soutien depuis le master 1 avec un stage inoubliable au LET. Je remercie M. Jean-Claude Gatina, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette thèse à La Réunion, au sein d'un département de l'université où j'ai pris plaisir à travailler.

Je remercie tout particulièrement M. Maurice Goze et Pierre Frankhauser d'avoir accepté d'être mes rapporteurs, ainsi que Mme Anne Aguilera et M. Michel Dimou, qui me font l'honneur de faire partie de mon jury.

J'adresse un remerciement particulier à Alex et Michel qui m'ont toujours accompagnée et poussée toujours plus loin. Je pense également à Vanessa que je remercie pour toutes ces conversations où j'ai douté de tant de choses et qui, subtilement et chaleureusement m'a toujours guidé vers la bonne voie, et que je suis heureuse de compter aujourd'hui parmi mes amis.

Je tiens à remercier également l'équipe du département SBE au grand complet, je pense à Christelle, Habiba, Tony et Placide pour cette superbe ambiance dans le bureau, Jean-Philippe, Dominique, Isabelle, Alain, Eric, Stéphane et enfin Divya que je remercie d'autant plus pour toutes les relectures et tous les conseils qui m'ont permis en très peu de temps de faire un grand pas dans le monde de la cartographie.

Je remercie également Carole et Jean Bernard pour leur sympathie et pour le travail formidable qu'ils réalisent au sein du laboratoire. Je remercie également Denis Crosnier pour l'aide au niveau des données.

Enfin, je pense tout particulièrement à Cédric et à toute ma famille, parents, frères et sœurs. Cela a été trois ans de pure galère et sans vous je n'y serai pas arrivée. Mon plus grand merci va à mes parents, coupeur de canne et tresseuse de vacoas qui ont tout donné à leurs enfants. Je suis fière de pouvoir vous dire aujourd'hui : « on y est arrivé » !

*A mes parents*



*« Mais pour vivre une ascension d'être,  
il faut garder claire conscience de son départ. »*

*Gaston Bachelard (1884-1962)*

# Introduction générale

L'étalement urbain est un phénomène observé dans le monde entier. Il a ainsi généré une littérature abondante sur une grande diversité de territoires mais c'est un sujet peu abordé en milieu insulaire. Concernant l'Île de La Réunion, la question de l'étalement urbain a été envisagée de manière quantitative par des auteurs locaux tels que Jauze ou Lajoie afin de rendre compte des impacts de la croissance démographique et de l'urgence de la maîtrise de l'urbain dans un contexte physique contraint. Mais l'aspect qualitatif de l'étalement urbain n'a été que peu abordé. Ainsi, notre réflexion s'organise autour d'une question principale : comment qualifier l'étalement urbain à la Réunion ? Ou plus précisément, quelles sont les formes d'étalement urbain visibles à la Réunion ?

La forme urbaine est un concept récurrent en études urbaines, mais il n'existe aucune définition précise de la notion. Dans son acception la plus courante, elle renvoie au concept de « *morphologie urbaine* », notion elle-même polysémique (Merlin et Choay, 1988). En effet, la forme urbaine peut être analysée sous plusieurs angles. On peut globalement distinguer deux approches distinctes et souvent complémentaires de la forme urbaine : une approche physique, qui est la plus courante, et une approche plus analytique qui renvoie davantage à la réalité fonctionnelle de la ville. Dans sa dimension physique ou « *matérialité plastique* » (Lévy, 2005), l'espace urbain est considéré dans sa tridimensionnalité. L'aspect le plus manifeste est alors le plan de la ville, c'est-à-dire la forme géométrique de la ville au sol. Cet aspect fait appel à une dimension à la fois historique et géographique de la ville, la ville évoluant « *sur place* » et « *dans l'espace* » (Antoni, 2010). Deux types de plans peuvent se distinguer : les plans quadrillés dits en damiers ou hippodamiens<sup>1</sup> et les plans radioconcentriques (Allain, 2004). Ces plans sont fondamentalement opposés : alors que le plan radioconcentrique s'organise en cercles concentriques autour d'une place centrale, les plans en damiers, plutôt orthogonaux, s'organisent en îlots séparés par des rues rectilignes se croisant à angle droit. Ces deux types de plans ne sont néanmoins pas incontournables : d'autres types de plan peuvent exister sans logique précise d'organisation autre que l'adaptation au relief par exemple, à l'exemple de nombreuses villes d'Amérique du Sud telles que Caracas (Marchand, 1969). Outre la forme géométrique, le tissu urbain constitue également l'un des aspects physiques de la forme urbaine les plus récurrents. Fortement lié à la typologie des bâtiments et aux structures spatiales, le tissu urbain fait référence aux éléments qui composent l'espace urbain (Merlin et Choay, 1988). Deux types de description du tissu urbain peuvent intervenir : une décomposition horizontale (Millot, 2003) où l'on décrit les éléments à une même échelle, et une décomposition verticale où l'on décrit les éléments selon plusieurs niveaux d'échelle en faisant apparaître une hiérarchie spatiale

---

<sup>1</sup> En référence à Hippodamos de Milet (Vème siècle avant Jésus-Christ), considéré comme l'un des pères fondateurs de la planification urbaine.

(Frankhauser, 2003). La décomposition horizontale peut se traduire par exemple par la distinction du parcellaire, du viaire, des espaces libres et des espaces bâtis (Borie et al., 1981). Ces éléments forment ensemble la trame urbaine et interagissent. Ainsi, un élément n'a de sens que confronté aux autres éléments de la trame (Millot, 2003). La décomposition verticale peut par exemple distinguer la maison individuelle, puis l'îlot, puis le quartier, puis la ville, etc. En effet, la décomposition verticale décrit une relation hiérarchique entre plusieurs niveaux d'éléments. Ainsi, Frankhauser explique en 2003 que les caractéristiques des tissus urbains des zones urbaines actuelles en font des zones sans forme particulière mais que l'on peut, par contre, associer à un principe d'emboîtement d'échelle : c'est ainsi à travers la géométrie fractale qu'il analyse ce principe de développement hiérarchique. La loi de Zipf-Pareto, généralement utilisée pour analyser les hiérarchies urbaines à travers le classement des espaces urbains selon leur taille démographique, peut d'ailleurs être appliquée en géométrie fractale pour illustrer ce principe d'emboîtement d'échelles (Mandelbrot, 1983 ; Frankhauser, 2003).

### **La densité, indicateur physique de la forme urbaine fonctionnelle**

La densité constitue un aspect physique de la forme urbaine. Souvent connotée de façon négative par la population et réduite à une simple opposition entre habitat collectif et habitat individuel (Goze, 2002), la densité n'est qu'un simple indicateur décrivant un rapport entre un élément quantifiable et la surface d'un espace de référence. L'espace de référence revêt ainsi une importance toute particulière puisqu'il va déterminer le type de densité à étudier. Il existe en effet différents types de densité parmi lesquels la densité de population - la plus courante-, la densité résidentielle, la densité de bâti brute ou nette, la densité perçue, la densité réelle (Dugeny, 2005). Ces différents aspects de la densité servent malgré tout un même objectif : décrire au mieux les configurations urbaines en agrégeant à la fois la dimension physique et la dimension fonctionnelle de la forme urbaine. La dimension fonctionnelle de la forme urbaine peut être mise en évidence à travers un angle descriptif souvent employé dans les études morphologiques, qui s'appuie sur une démarche typologique nécessitant un long travail d'inventaire, ou un angle explicatif, qui s'intéresse aux théories dont résulte la localisation des espaces fonctionnels c'est-à-dire des activités humaines. Les théories de localisation, dont le père fondateur est Von Thünen (1826), sont les premières théories permettant de comprendre les formes fonctionnelles de l'espace. Sur la base d'hypothèses telles que l'isotropie spatiale, dans les théories de localisation, la rente perçue par les propriétaires fonciers, correspond à la différence entre le prix de marché et le coût total du produit agricole, qui comprend notamment les coûts de production et les coûts de transports. L'espace étant supposé isotrope, le sol est homogène et n'intervient donc pas dans le choix des cultures ou des localisations ce qui diffère de la théorie de la rente foncière de Ricardo (1817). Ainsi, plutôt que sur la fertilité du sol, Von Thünen s'appuie sur les coûts de transports. La distance au centre devient alors un facteur déterminant dans la localisation des activités : à proximité du centre, la rente est maximale ; avec l'éloignement au centre, la rente décroît parallèlement à l'augmentation des coûts de transport. La distance à laquelle la rente devient nulle, constitue la limite de l'aire de production (cf. Schéma en annexe). Chaque type de culture possédant sa propre courbe de rente, l'organisation des cultures dans l'espace dépend ainsi de l'intensité spatiale des

cultures : à titre d'exemple, l'élevage extensif est repoussé en lointaine périphérie (schéma en annexe). Densité et distance au centre trouvent alors leur première mise en relation dans la théorie de Von Thünen. Néanmoins, l'analyse de Von Thünen souffre d'un biais lié aux hypothèses initiales. En effet, outre l'irréalisme de l'isotropie de l'espace, le modèle de Von Thünen traduit un espace urbain monocentrique qui ne colle pas à la réalité et la complexité des espaces urbains actuels (Péguy, 2000). Ces travaux ont alors donné suite à une littérature prolifique à travers la Nouvelle Economie Urbaine (NEU) et l'économie géographique. Qu'ils soient fondés sur l'hypothèse monocentrique de Von Thünen ou qu'ils admettent le non-monocentrisme, ces modèles, initiés par les travaux d'Alonso (1964), Mills (1972) et Muth (1969), s'attachent à comprendre les logiques de localisations et à comprendre la formation des agglomérations. Dans ces modèles, la distance au centre est un facteur essentiel à l'explication des localisations. Coûts de transport et coûts fonciers sont des facteurs secondaires (puisqu'ils sont intrinsèquement liés à la distance au centre). Une relecture synthétique des travaux de la NEU a été proposée par Fujita en 1989 et Papageorgiou en 1990, tandis que les travaux de l'économie géographique sont synthétisés en 1995 par Fujita et Krugman et en 1997 par Fujita et Thisse. Les modèles de la NEU permettent globalement de distinguer trois indicateurs essentiels pour comprendre les formes urbaines à travers les choix de localisation des ménages : les coûts de transports (soit la distance au centre urbain), les prix fonciers et les revenus. Selon le modèle de la NEU, les ménages vont arbitrer leur choix de localisation selon une analyse des coûts de transport comparés aux coûts fonciers, sous une contrainte budgétaire. Les modèles de l'économie géographique vont, eux, s'intéresser aux forces d'agglomération et forces de dispersions des espaces urbains (Fujita et Thisse, 1997). En effet, l'objectif des modèles de l'économie géographique est de comprendre pourquoi et comment activités économiques et populations se localisent à tel ou tel endroit et comprendre ensuite quelles sont les conséquences en termes d'organisation territoriale et autres conséquences économiques. Dans cette approche, toute agglomération de population et d'activités est le résultat de deux processus impliquant deux forces opposées : une force d'agglomération ou force centripète et une force de dispersion ou force centrifuge (Fujita et Thisse, 1997). La littérature issue de ce courant est riche et cherche généralement à comprendre l'origine des forces centripète et centrifuge, les mécanismes qui poussent à l'agglomération d'agents différents ou d'agents semblables, etc.

La densité, en tant qu'indicateur de la forme urbaine, a donné lieu à de nombreuses études permettant de mettre en exergue différentes morphologies fonctionnelles à partir de l'indicateur densité. A titre d'exemple, Newman et Kenworthy (1989, 1995, 1999) ont effectué une analyse sur 31 grandes villes mondiales en reliant densité et mobilité à travers la consommation d'énergie (Héran, 2001 ; Pouyanne, 2004, 2004). Les auteurs ont ainsi montré que les fortes densités sont associées à de plus faibles distances de déplacement, ce qui donne alors l'avantage aux modes de transport doux par rapport à la voiture, se traduisant ainsi par une moindre consommation énergétique pour les déplacements (Héran, 2001; Nessi, 2010). Leur étude aboutit à une distinction de trois groupes de villes dévoilant trois types de morphologie urbaine dans trois régions du monde. Ainsi, les villes nord-américaines et australiennes sont caractérisées par de faibles densités urbaines et dépendantes de

l'automobile et génèrent ainsi une consommation d'énergie importante ; les villes européennes sont, elles, caractérisées par des densités moyennes à fortes et un réseau de transport multimodal, permettant ainsi de réduire l'utilisation de la voiture et la consommation d'énergie ; enfin, les villes asiatiques paraissent plus denses et, en favorisant les transports en communs, ces villes sont les moins énergivores en termes de transport. Les villes asiatiques et européennes sont parfois regroupées dans un même ensemble (Héran, 2001, Pouyanne, 2004).

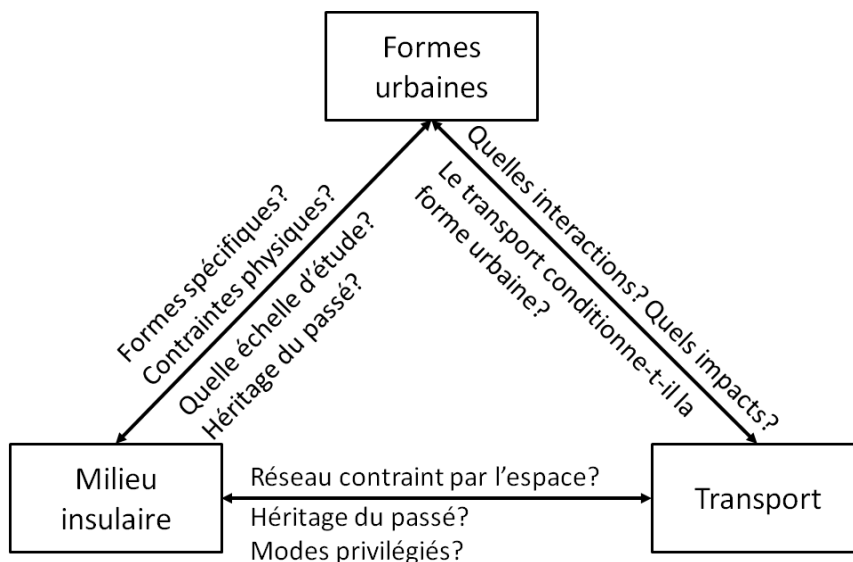
Cette distinction de trois types de ville n'est pas sans rappeler la théorie des trois âges de Schaeffer et Sclar (1975) qui permet de dégager des formes urbaines en fonction du mode transport dominant (Pouyanne, 2004b). Cette théorie permet de décrire la ville à trois instants de son évolution dans le temps. On distinguerait alors, dans un premier temps, la Ville pédestre traditionnelle (*Traditional Walking City*) – ville très dense s'étendant sur un rayon maximum de 5 kilomètres, où les emplois et résidences sont mêlés – de la Ville Radiale, ou ville des transports en commun (*Transit City*) – ville s'organisant autour des transports en commun sur un périmètre beaucoup plus grand que pour la ville pédestre (30 km), avec une urbanisation plus dense au niveau des nœuds correspondant aux stations de transport en commun – et de la Ville Automobile (*Automobile Dependent City*) – ville s'étendant jusqu'à 40 km, avec une urbanisation plus souple c'est-à-dire moins de dépendance aux voies de communication (Pouyanne, 2004, Allaire et Criqui, 2007). Ainsi, la théorie des trois âges décrit l'évolution de la ville (en « photographiant » la ville à trois moments donnés dans le temps) en fonction de l'évolution de son système de transport. Cette théorie reflète assez bien l'évolution des grandes villes des pays développés, mais est peu représentative des villes des pays du Sud. En effet, ces villes des pays en développement se développent aujourd'hui de manière très différente au développement connu par les pays du Nord à l'époque (Allaire, 2006). Alors que les pays du Nord ont connu une phase d'industrialisation d'une grande importance pour leur développement, les Pays du Sud, eux, s'urbanisent plus vite qu'ils ne s'industrialisent et passent directement à des villes où plusieurs types de transport sont mêlés (Allaire, 2006). Il est ainsi de plus en plus admis que la forme des villes est plus conditionnée par des schémas de mobilité et des logiques de réseaux dynamiques plutôt que par une empreinte physique statique (Guérois, 2003). La question du transport conditionnant la forme des villes se retrouve d'ailleurs dans les théories d'organisation spatiale à travers les modèles gravitaires où les flux gravitaires entre zones urbaines sont au cœur de l'analyse de la répartition spatiale des activités. En effet, formulés à partir d'une analogie avec la loi de gravitation universelle de Newton établie en 1687, les modèles gravitaires de déplacements stipulent que deux espaces s'attirent directement en fonction de leur poids (taille de la ville en termes de population ou d'emplois) et inversement en fonction de la distance qui les sépare (Reilly, 1931). La forme urbaine est alors décrite à partir de trois indicateurs principaux : la taille ou densité de l'espace urbain (emploi et/ou population), la distance (ou le coût ou la durée du déplacement) et enfin les flux entre les espaces (déplacements domicile-travail).

### **L'interaction transport-urbanisme à la Réunion**

Forme urbaine et transport entretiennent ainsi une relation étroite. C'est sur cette relation que nous souhaitons précisément fonder notre analyse : nous nous demandons, dans un premier

temps, quelles sont les différentes formes urbaines visibles à la Réunion et, dans un second temps, nous nous interrogeons sur les relations entre ces formes urbaines et le transport dans le cadre insulaire de La Réunion. Le milieu insulaire est par définition isolé et restreint, parfois contraint par le relief, et l'image d'un espace urbain organisé, dans ces milieux, dans l'esprit des grandes métropoles est souvent écartée. En effet, les espaces urbains en milieu insulaire adoptent-ils des formes spécifiques ou peut-on retrouver les modèles classiques ? Ce même milieu insulaire peut-il voir se développer un réseau de transport similaire aux métropoles ou la contrainte physique réduit-elle les possibilités en matière de modes ? Cette réduction de possibilités permet-elle ainsi de réduire les formes d'étalement ou ces formes sont-elles aussi variées ? Quel est le sens privilégié de l'interaction transport-urbanisme dans ce type d'espace ? Ces questionnements ont conduit à la réalisation du triptyque suivant, permettant de résumer le cadre conceptuel de la thèse :

**Figure 1 : Cadre conceptuel de la réflexion de thèse**



Conception : F. Bénard, 2012

La densité de population constitue notre outil d'analyse pour l'étude fonctionnelle de la forme urbaine et c'est ainsi le phénomène d'étalement urbain que nous souhaitons mettre en évidence. Notre questionnement débute sur une problématique d'échelle. En effet, la forme urbaine à La Réunion a été source de nombreux écrits notamment en matière d'étalement urbain à l'échelle globale de l'Île. Or, l'aménagement peut s'appréhender à différentes échelles : du simple bâtiment à la ville ou l'agglomération, le territoire ou la région en passant par l'îlot ou le quartier. Chaque échelle possède ses propres spécificités en matière de technicités et possibilités d'aménagement ou de temps. Lors de l'étude de phénomènes de concentration par exemple, un même espace pourrait paraître dense à micro-échelle tandis qu'il sera considéré comme dispersé à macro-échelle (Agorah, 2005). Ainsi, l'échelle d'étude est une étape cruciale qui va déterminer les objectifs de l'étude et conditionner également le type de données exploitées (Cherqui, 2005). Dans notre approche, une analyse à l'échelle globale de l'Île est menée dans le chapitre 1 et permet de mettre en exergue un constat : outre

la confirmation des résultats des différents travaux déjà effectués par d'autres auteurs, ce type d'analyse ne permet pas de qualifier l'étalement urbain et d'en distinguer différentes formes. Ainsi, le chapitre 1 constitue un préambule permettant de résoudre ce questionnement d'échelle.

Ensuite, le chapitre 2 s'interroge dans un premier temps, sur la question de la forme urbaine et plus précisément de l'étalement urbain à travers l'étude de la relation entre la densité et la distance au centre urbain. Cette relation est mise en évidence par une étude sur les trois principales aires urbaines de l'Île de La Réunion et permet ainsi de mettre en exergue, sur un espace pourtant restreint, trois formes d'étalement distinctes. Une caractérisation qualitative à partir d'une approche quantitative de l'étalement est ainsi proposée. Le chapitre 3 est lié à son prédécesseur et s'intéresse à l'aspect transport mis en évidence dans les trois formes d'étalement proposées. En effet, une variable considérée dans notre étude est l'accessibilité à travers les temps d'accès au centre, variable conditionnée par le réseau de transport. Le chapitre permet ainsi de mettre en exergue l'effet structurant du réseau de transport et les différents impacts de ce réseau sur l'organisation spatiale de la population. Enfin, le dernier chapitre s'inscrit dans une démarche de planification. La Réunion, étant en effet soumise à une forte pression démographique qui pèse d'autant plus que l'espace est restreint (2 512 km<sup>2</sup>), la question de l'organisation spatiale de la population en 2030, date où La Réunion atteindra le million démographique (INSEE, 2008), revêt une importance toute particulière pour les politiques d'aménagement. Ainsi, quelques scénarii tendanciels sont proposés dans un objectif d'information. A terme, ce type de travail devrait conduire à la réalisation de modèles d'interaction transport-urbanisme servant la prospective territoriale.

# SOMMAIRE

**Introduction générale..... 5**

## **CHAPITRE 1 :**

**Analyse hiérarchique des espaces urbains à La Réunion..... 12**

## **CHAPITRE 2 :**

**La densité, outil d'analyse de la forme urbaine à travers le phénomène de l'étalement urbain ..... 39**

## **CHAPITRE 3 :**

**L'interaction forme urbaine et transport ..... 100**

## **CHAPITRE 4 :**

**La Réunion en 2030, quelles évolutions pour les principales aires urbaines ? ..... 134**

**Conclusion générale ..... 182**

**Références bibliographiques ..... 184**

**Annexes ..... 194**



# CHAPITRE 1

## Analyse hiérarchique des espaces urbains à La Réunion

# Sommaire du chapitre 1

<b>CHAPITRE 1 : Analyse hiérarchique des espaces urbains à La Réunion .....</b>	<b>12</b>
Introduction du chapitre .....	14
I. Les modèles rang-taille, outil d'analyse de la structure urbaine .....	15
I.1 La loi de Zipf-Pareto .....	15
I.2 Application en sciences régionales .....	16
I.3 Controverses méthodologiques .....	18
II. Les modèles rang-taille à travers la densité urbaine : application au cas réunionnais	21
II.1 Le contexte réunionnais .....	21
II.2 Méthodologie appliquée.....	26
II.3 Résultats.....	28
II.4 « Discussion des résultats » .....	32
Conclusion du chapitre.....	38

# Introduction du chapitre

En sciences régionales, les études urbaines peuvent porter sur la croissance des villes et les modalités de ces croissances (phénomène de métropolisation, phénomène d'étalement urbain, etc.) ainsi que sur la structure urbaine, c'est-à-dire l'étude globale du système urbain et par conséquent des hiérarchies urbaines. Alors que l'étude de la croissance des villes s'interroge sur les dynamismes en amont et en aval de la croissance, l'étude des hiérarchies urbaines analyse le système urbain dans sa globalité en se concentrant sur les structures urbaines. Les modèles rang-taille s'inscrivent dans l'étude des hiérarchies urbaines en proposant, souvent à l'échelle d'un pays, une hiérarchie des villes en fonction de leur taille démographique. De nombreux travaux sur les hiérarchies urbaines utilisent les modèles rang-taille pour comprendre les structures et organisations urbaines. Le modèle le plus connu est la loi de Zipf-Pareto qui met en relation le rang d'une ville en fonction de sa taille. De nombreux auteurs se sont ainsi penchés sur la loi rang-taille ces dernières années et l'ont ainsi testé sur un certain nombre de pays dans le monde entier. Ainsi on peut citer les travaux d'Alperovich (1992), Rosen et Resnick (1980) et Soo (2005) parmi tant d'autres pour des analyses au niveau international, Gabaix (1999), Dobkins et Ioannides (1999), Ioannides et Overman (2003), pour leurs études des hiérarchies urbaines aux Etats-Unis, Schaffar (2009) pour ses travaux sur la Chine et l'Inde, Lalanne (2010) pour ses travaux sur le Canada, etc.

Néanmoins, malgré leur popularité, les modèles rang-taille commencent à souffrir depuis quelques années de nombreuses controverses. Certains auteurs ont en effet mis en exergue quelques imperfections dans les modèles rang-taille, notamment en ce qui concerne le choix des agrégats ou encore la taille des échantillons étudiés. Ainsi, ces dernières années, un certain nombre d'applications originales des modèles rang-taille ont émergé et permis d'élargir ainsi leur champ d'application.

Ce chapitre s'organise en trois parties. Dans un premier temps, une présentation sélective des modèles rang-taille est effectuée et notamment une présentation de la loi de Zipf-Pareto, modèle le plus courant. Cette présentation sélective s'accompagne de la présentation de certains travaux empiriques à l'échelle internationale qui ont permis de mettre en évidence l'intérêt de l'application de la loi rang-taille pour l'étude des structures urbaines et notamment la comparaison des structures urbaines de différents pays en soulignant les différentes conclusions que peuvent produire ce type d'études. Dans un second temps, nous présenterons les différents biais que peuvent dévoiler la loi de Zipf-Pareto et nous explorerons quelques alternatives qui permettent d'élargir le champ d'application des modèles rang-taille. Enfin, dans une troisième partie nous allons tester les modèles rang-taille sur un petit territoire tel que l'Île de la Réunion en apportant deux originalités dans la méthode : l'utilisation de la variable densité démographique, et l'application à l'échelle des zones IRIS<sup>2</sup> de l'INSEE. L'intérêt de ce chapitre réside dans la problématique de l'échelle. En effet, analyser les formes urbaines et donc analyser l'espace urbain est un concept vaste qui peut se faire à

---

<sup>2</sup> IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

plusieurs niveaux d'échelle : ainsi selon la problématique, certaines échelles apparaissent plus pertinentes que d'autres. Actuellement, la majorité des études sur les formes urbaines à La Réunion se sont concentrées sur une échelle globale et ont mis en évidence une hiérarchie entre les différents espaces urbains, et analysés l'évolution du bâti face aux différents facteurs qui contraignent l'urbanisation (relief, climat, etc.). Notre approche, qui se veut exploratoire, va-t-elle apporter les mêmes résultats ? L'objectif de ce chapitre est donc double : d'une part, valider la démarche méthodologique, et d'autre part éclairer le choix de l'échelle d'étude.

# I. Les modèles rang-taille, outil d'analyse de la structure urbaine

Dans cette première partie, nous proposons une rapide présentation de la loi de Zipf-Pareto afin d'en montrer les diverses applications et de mettre en exergue les différents controverses méthodologiques liées aux modèles rang-taille.

## I.1 La loi de Zipf-Pareto

Les premiers travaux faisant apparaître un phénomène rang taille des villes sont apparus dès le début du XXème siècle avec Auerbach qui fut le premier à proposer en 1913 une distribution en loi de puissance de la distribution rang taille de la ville (« *power law distribution* ») (Gabaix et Ioannides, 2003 ; Singer, 1936 ; Dimou et Schaffar , 2007 ; Schaffar , 2009). C'est néanmoins le nom de Zipf (1949) qui est associé à la loi rang-taille des villes, selon laquelle la population d'une ville est proportionnelle à son rang dans la hiérarchie urbaine et à la taille de la plus grande agglomération du système (Catin et Kamal, 2009).

La forme la plus diffusée de la loi rang taille est la relation log-linéaire (Schaffar, 2008, 2009) qui, pour le rang d'une ville  $i$ , détermine :

$$\ln r_i = -\beta \ln s_i + \ln k \quad (1.1)$$

avec  $r$  le rang de la ville en fonction de sa taille démographique  $s$ ,

$\beta$  un coefficient de hiérarchisation, communément appelé coefficient de Pareto,

et  $k$ , un paramètre qui dépend de la taille de la plus grande ville.

Lorsque  $\beta$  est égal à 1, la distribution des tailles des villes suit une loi de Zipf (Gabaix et Ioannides, 2003, Dimou et Schaffar, 2007, Schaffar, 2008, 2009).

L'indice de hiérarchisation  $\beta$  fournit un bon indicateur de l'organisation urbaine de l'espace étudié en permettant de distinguer les centres, et notamment la présence de plusieurs centres.

En effet, lorsque  $\beta < 1$ , l'effet agglomération est fort et les villes de grande taille ont un poids important. A l'inverse si  $\beta > 1$ , on est en présence d'un espace polycentrique où plusieurs centres urbains de rang plus ou moins égal coexistent (Dimou, 2006, Dimou et Schaffar, 2007).

## I.2 Application en sciences régionales

Ce sont les travaux fondateurs de Simon (1955) et Beckmann (1958) qui fournissent les bases de l'application des modèles rang-taille en sciences régionales. En effet, en 1955, Simon avait émis l'hypothèse que la loi de Pareto n'était pas le meilleur modèle pour représenter la distribution rang-taille des villes. Il proposait alors plutôt l'application d'une loi lognormale. Ce travail a donné suite à un certain nombre de travaux émettant l'hypothèse d'une déviation vis-à-vis du modèle de Pareto pour expliquer la distribution rang-taille des villes et proposant alors des modèles alternatifs tels que la distribution lognormale. En 1958, Beckman s'intéressait lui aux fondements de la loi rang-taille en construisant son analyse à partir de la théorie des places centrales de Lösch (Schaffar, 2009). Ces travaux ont donné suite à un développement prolifique de travaux sur les hiérarchies urbaines.

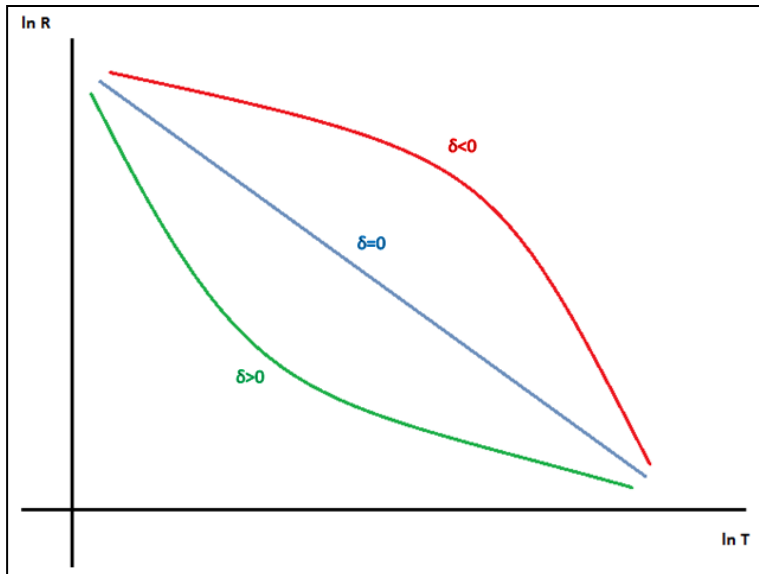
Parmi ces travaux, il convient de citer les travaux de Rosen et Resnick (1980) qui réalisent une comparaison des villes de plus de cent mille habitants de quarante quatre pays différents. Ils obtiennent des coefficients de hiérarchisation dans un intervalle  $[0,81 ; 1,96]$  avec 75% des pays affichant une valeur absolue de l'exposant supérieure à 1. Ils considèrent alors le modèle rang-taille plutôt comme un outil de comparaison des différents systèmes urbains au lieu de rechercher la validité de la loi de Zipf au sens strict du terme. En effet, c'est l'interprétation et la comparaison du coefficient de hiérarchisation qui intéresse les auteurs : si  $\beta < 1$  on a un effet d'agglomération fort, c'est-à-dire que les villes de grande taille ont un poids démographique prépondérant dans le système urbain ; à l'inverse, si  $\beta > 1$  l'effet d'agglomération est faible et on est plutôt en présence d'un système urbain où un certain nombre de villes de rang plus ou moins égal coexistent (Dimou et Schaffar, 2007, Schaffar, 2009). Ainsi, c'est sur le degré d'adéquation des différentes distributions avec une distribution de Pareto et la comparaison des coefficients de hiérarchisation que se concentrent les débats scientifiques actuels (Gabaix et Ioannides, 2004).

Outre ce travail de comparaison internationale, les travaux de Rosen et Resnick (1980) ont permis de mettre en évidence une possible déviation vis-à-vis de la stricte linéarité entre le logarithme du rang et le logarithme de la taille démographique des villes. En d'autres termes ils ont émis des réserves quant à la validité de la loi de Pareto. En effet, plutôt que par une relation linéaire, la relation entre le logarithme du rang et le logarithme de la taille des villes doit être représentée par une courbe parabolique. Cette représentation parabolique peut être étudiée grâce à l'introduction d'un terme quadratique (ou même cubique) dans l'équation de Zipf. On obtient alors :

$$\ln R_i = \alpha + \beta \ln S_i + \delta (\ln S_i)^2 \quad (1.2)$$

Dans cette nouvelle représentation, c'est l'interprétation du coefficient quadratique qui importe, c'est-à-dire l'interprétation de  $\delta$  (Figure 1.1).

**Figure 1.2: Interprétation du coefficient quadratique de Rosen et Resnick (1980)**



Conception : F. Bénard, 2012

Lorsque  $\delta$  est significativement différent de 0, on s'éloigne de la loi de Pareto et lorsque  $\delta = 0$ , on obtient la loi de Zipf. Si  $\delta > 0$ , la courbe de la distribution rang-taille est strictement convexe, ce qui signifie que le nombre de villes moyennes est inférieur à celui préconisé par la loi de Zipf. Si, au contraire,  $\delta < 0$  la courbe de la distribution est strictement concave, ce qui implique un nombre important de villes moyennes dont le poids démographique contrebalance celui des grandes agglomérations et des petites villes (Schaffar, 2009) (cf. Figure 1.1).

D'autres auteurs ont également proposés des comparaisons internationales avec l'application de modèles rang-taille différents de la loi de Zipf-Pareto. En effet, en 1993, Moriconi-Ebrard s'appuie sur le modèle de Lotka pour proposer une analyse de la distribution des villes de plus de dix mille habitants dans 78 pays. La comparaison est faite sur des pays industrialisés et des pays en développement entre 1950 et 1980.

A l'inverse de la loi de Zipf, la loi de Lotka (1926) met en relation la taille d'une ville en fonction du rang. On obtient la relation suivante :

$$S(n) = \frac{S(1)}{n^\gamma} \quad (1.3)$$

avec  $S(n)$  la population de la ville de rang  $n$ ,  $S(1)$  la population de la plus grande ville (c'est-à-dire de la ville de rang 1) et  $\gamma$  un coefficient de hiérarchisation dont la valeur dépend des caractéristiques intrinsèques de la population étudiée. Mis à part pour les valeurs extrêmes (grandes villes), le modèle de Lotka procure une bonne estimation de la distribution rang-taille (Lotka, 1926).

A partir de ce modèle, Moriconi-Ebrard réalise donc une comparaison internationale et met en évidence que, malgré la différenciation qui existe entre les pays, ce n'est pas le niveau de développement qui influe. En effet, l'auteur met en évidence un véritable clivage entre le Nouveau Monde (Amérique, Océanie) et l'Ancien Monde (Europe, Asie, Afrique) (Schaffar, 2009). C'est donc plutôt sur un critère historique que doit se fonder la différenciation entre les différents pays.

En 2005, Soo réalise une analyse sur 73 pays différents et met alors en évidence, à partir de la comparaison du coefficient de hiérarchisation que le niveau de développement économique a une influence déterminante sur les hiérarchies urbaines. A partir de l'application de la loi de Zipf, il met en évidence un coefficient de hiérarchisation plus élevé pour les pays à revenus élevés (Amérique du Nord, Europe, Océanie) que pour les pays à revenu faible ou intermédiaire (Asie, Amérique du Sud, Afrique).

L'utilisation des modèles rang-taille pour l'étude des hiérarchies et structures urbaines des pays présente un intérêt certain. Outre l'analyse en elle-même du système hiérarchique d'un pays, elle permet également de comparer plusieurs pays entre eux. Quel que soit le modèle utilisé (Zipf-Pareto, modèle lognormal, Lotka, modèle quadratique de Rosen et Resnick, etc.) l'utilisation de la loi rang-taille permet de mettre en évidence les différences de structure hiérarchique entre les pays et, de plus, de mettre en évidence les causes de ces différenciations. Ainsi, les facteurs historique et économique semblent jouer un rôle dans la hiérarchie des villes d'un pays.

## **I.3 Controverses méthodologiques**

Les modèles rang-taille présentent un intérêt certain : un indice unique (le coefficient de hiérarchisation) permet de donner des conclusions importantes sur la structuration des systèmes urbains. Néanmoins, certains biais méthodologiques mis en évidence depuis quelques années conduisent à prendre ces informations avec précaution.

Les premières critiques méthodologiques viennent de Zipf lui-même (1949). En effet, dans son étude initiale sur l'Australie, Zipf met en évidence un biais d'échantillonnage. En effet, il trouve que la distribution des villes dévie d'une distribution de Pareto, notamment à cause de l'allure de sa queue. En effet, il a considéré dans son étude à la fois des communautés urbaines et rurales. Cela conduit donc, selon lui, à une distribution composite, issue de la combinaison de deux distributions qui devraient être distinctes. Il introduit, par là, un ensemble d'interrogations méthodologiques sur la nature des données utilisées.

### **La définition de la ville en question**

En 1999, Chesire rappelle, à la suite de Zipf, que la définition même de la ville peut poser un biais dans l'analyse. En effet, la question du périmètre de la ville se pose : doit-on utiliser le périmètre administratif ou le périmètre dit fonctionnel ? L'utilisation du périmètre

administratif présente l'avantage de la disponibilité des données et permet ainsi de réaliser des études sur des séries statistiques longues. Cela permet de prendre en compte la ville en tant qu'unité institutionnelle. Néanmoins, les limites administratives des villes ne prennent souvent pas en compte la réalité même de la forme de la ville et une approche fonctionnelle de la ville semblerait alors plus appropriée. En effet, Rosen et Resnick ont conduit, en 1980, une analyse rang-taille sur six villes pour lesquelles ils disposaient de données à la fois pour les limites administratives et les limites fonctionnelles. Ce travail a permis ainsi de mettre en exergue la pertinence de l'utilisation des limites fonctionnelles de la ville pour effectuer ce type d'analyse (Cheshire, 1999). Le même type de travail a été effectué au Japon par Osada (1997) et a permis de confirmer ce résultat : les villes fonctionnelles sont plus appropriées pour l'étude des hiérarchies urbaines à travers la loi rang-taille et l'application du coefficient de Pareto (Cheshire, 1999). Toutefois, la prise en compte des limites fonctionnelles de la ville souffre souvent d'un manque de données et exige ainsi la construction de bases de données permettant de prendre en compte les aires urbaines dans leur intégralité en considérant à la fois la dimension économique et la dimension sociale. Ce problème d'acquisition de données doit néanmoins être relativisé car il existe maintenant au niveau d'un certain nombre de pays un zonage assez fin (proche du quartier) pour la construction des bases de données, permettant ainsi d'agréger simplement les différentes zones qui vont constituer la ville ou l'agglomération urbaine. Ainsi, ce zonage correspond en France aux zones IRIS (Îlots Regroupés pour l'Information Statistique) établies par l'INSEE. Aux Etats-Unis, ce type de données est disponible à travers les bases appelées Data Archives. Le problème de disponibilité des données pouvant être contourné, il se pose alors une nouvelle question : comment définir l'espace urbain ? En effet, quelles sont les caractéristiques qui permettent de délimiter la ville ? La ville et l'agglomération urbaine désignent-elles le même espace ? L'INSEE définit la ville sur un critère de continuité du bâti<sup>3</sup> et pose en tant que synonyme les notions d'agglomération urbaine et d'unité urbaine. La notion d'aire urbaine est plus évoluée et, en plus de la continuité du bâti, exige un seuil minimal d'emplois et des flux quotidiens entre périphérie et centre. Selon Guérois (2002), le choix du périmètre d'étude doit finalement dépendre des objectifs de l'étude et ainsi, le choix de l'aire urbaine est adéquat pour étudier le phénomène d'étalement urbain et également inclure une dimension prospective à l'étude.

### **Le seuil minimal à considérer**

Outre le problème de définition de la ville, se pose également le problème de la taille minimale des villes à considérer. En effet, selon Eeckhout (2004), la loi de Pareto a été validée dans la plupart des cas uniquement parce que l'on s'intéresse à chaque fois à une partie seulement de la population urbaine. Les auteurs ciblent en effet un certain nombre de villes qui ne représentent pas la totalité de la population urbaine. Selon Cheshire (1999), dans les études sur la loi rang-taille dans les systèmes urbains, il existe trois possibilités pour cibler l'échantillon des villes qui vont être considérées : les deux premières qui sont l'application d'un seuil minimal de population ou d'un nombre maximal de villes à considérer ont été mises en avant déjà par Rosen et Resnick (1980) ; la troisième possibilité d'échantillonnage

---

<sup>3</sup> <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/ville.htm>



consiste à considérer une certaine proportion de la population urbaine (Wheaton et Shishido, 1981). Ces trois possibilités d'échantillonnage conduisent à une représentation non exhaustive de la population urbaine et on parle alors de distribution dite *tronquée* (Eeckhout, 2004, Schaffar, 2009). En effet, la distribution linéaire des logarithmes des tailles en fonction des logarithmes des rangs des villes ne représente que la partie haute d'une distribution qui épouse davantage les traits d'une loi lognormale, lorsque l'on considère la totalité de la population urbaine. Le seuil minimal choisi détermine donc le choix du modèle (lognormale ou linéaire) (Eeckhout, 2004, Schaffar, 2009).

### **La distribution linéaire en question**

Ainsi, certains auteurs se sont demandé si la relation entre le logarithme du rang et le logarithme de la taille suivait bien une loi de Pareto. L'hypothèse d'une distribution lognormale a alors été avancée. En effet, selon Schaffar (2009), la littérature sur les hiérarchies urbaines et la loi de Zipf part d'un « *a priori théorique* » jugé contestable, à savoir : une distribution de la taille des villes qui suit une loi de Pareto. Cet *a priori* conduit systématiquement à négliger de s'interroger sur la meilleure adéquation possible entre la distribution réelle et la distribution théorique. Ainsi, en 1990, Hsing propose, pour l'étude de 318 MSA<sup>4</sup> américaines en 1980, d'utiliser une transformation de type Box-Cox et rejette ainsi l'adéquation systématique entre la distribution des villes américaines et la loi de Pareto. En 1980, Rosen et Resnick émettent la possibilité d'une distribution parabolique -plutôt qu'une stricte linéarité- qui peut être introduite dans la loi de Zipf par la simple intégration dans l'équation d'un terme quadratique ou cubique. Ils valident ainsi leur hypothèse pour 30 des 44 pays étudiés tandis qu'en 2005, Soo confirme la déviation vis-à-vis d'une loi de Pareto dans 68% des cas pour 73 pays étudiés (Schaffar, 2005).

### **La pertinence de la variable démographie urbaine**

Enfin, récemment, un certain nombre de chercheurs s'interrogent sur la pertinence de la variable démographie urbaine dans l'utilisation des modèles rang-taille pour étudier les hiérarchies urbaines. Ainsi certains auteurs ont proposé l'utilisation d'autres variables tels que le nombre de firmes installées dans chaque localité (Mori et al., 2008) ou encore les connections nodales entre les villes (Berliant et Watanabe, 2008). Cette dernière approche permet de lier les approches rang-taille à celles des modèles centre-périphérie.

C'est dans la continuité de ce type d'approche que s'inscrit le travail qui suit sur l'Île de La Réunion. Ainsi, le parti pris est d'utiliser la densité urbaine en tant que variable pour représenter la taille des villes.

---

<sup>4</sup> Metropolitan and Micropolitan Statistical Area, espace urbain aux Etats-Unis composé d'un centre et d'une périphérie et défini en fonction de la continuité du territoire, du nombre d'habitants et de la densité au centre et de la proportion d'actifs occupés résidant en périphérie et travaillant au centre.

## **II. Les modèles rang-taille à travers la densité urbaine : application au cas réunionnais**

L'étude de la densité urbaine à partir des modèles rang-taille vient de la volonté d'apporter une approche originale à l'étude de l'étalement urbain à La Réunion. L'application de modèles rang-taille se faisant généralement à l'échelle d'un pays à partir de la taille démographique des villes, nous proposons de réaliser notre analyse à l'échelle de l'île de la Réunion à partir de la densité démographique des quartiers IRIS. Bon nombre d'analyses de l'étalement urbain à La Réunion ont déjà été réalisées et nos résultats viendront ainsi compléter une analyse déjà existante. L'objectif est alors, non pas de valider les résultats, mais plutôt de valider une méthodologie exploratoire. Ainsi, ce sous-chapitre s'organise en quatre parties. Dans un premier temps, par une relecture sélective de la littérature locale, nous allons présenter les principales caractéristiques et spécificités réunionnaises. Dans un second temps, nous allons aborder quelques points méthodologiques en présentant notamment la base de données. Enfin, nous allons explorer les résultats et compléter notre analyse à travers une analyse d'effets de voisinage qui viendra apporter un appui supplémentaire à notre méthodologie.

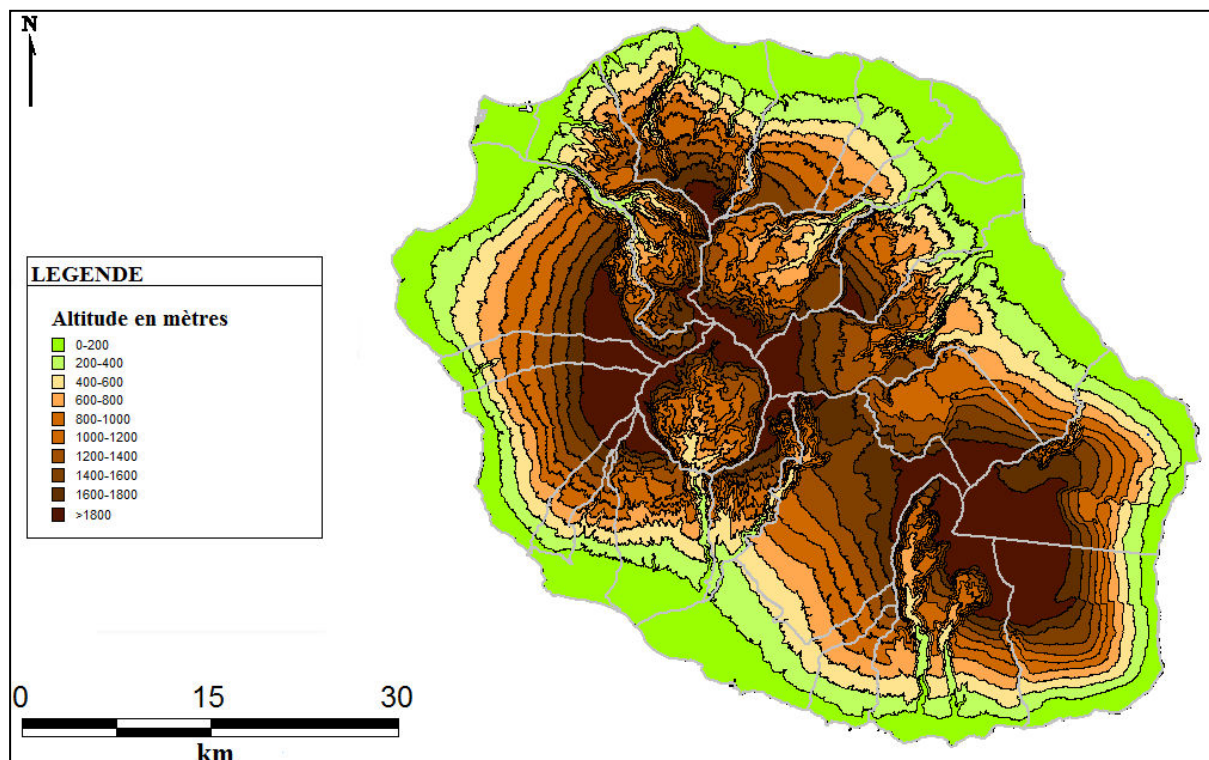
### **II.1 Le contexte réunionnais**

L'île de la Réunion, d'une superficie de 2512 km<sup>2</sup>, est un Département d'Outre-Mer (DOM) français situé dans l'Océan Indien. Île tropicale formée à partir de deux volcans, elle présente une géographie physique périlleuse. En effet, le territoire réunionnais présente un relief marqué par deux ensembles montagneux au centre de l'île (les volcans Le Piton des Neiges et Le Piton de la Fournaise) raccordés par une planèze. Les flancs du Piton des Neiges, point culminant de l'île à plus de 3000 mètres d'altitude, ont été évidés pour former des caldeiras au centre : les cirques de Mafate, Salazie et Cilaos. Les trois cirques occupent la partie centrale de l'île et sont raccordés au Piton de la Fournaise par une planèze. Le Piton de la Fournaise est un volcan encore actif<sup>5</sup> situé au Sud-est de l'île et qui contraint l'urbanisation dans ce secteur. Ainsi, le relief réunionnais est accidenté au centre avec les cirques qui affichent des pentes vertigineuses, vallées et ravines encaissées, remparts de plus de 1000m de haut, et à l'Est par le Piton de la Fournaise. L'île est également marquée par la biodiversité des forêts primaires qui ont pu être préservées grâce au relief et qui aujourd'hui sont protégées par le Parc National de La Réunion. Ainsi, le relief est à la fois contraint et restreint (Lajoie, 2007). Sur une superficie de 2512 km<sup>2</sup> déjà restreinte, seul un tiers est disponible à l'urbanisation.

---

<sup>5</sup> La dernière éruption date de décembre 2010. [http://www.fournaise.info/eruptions\\_tableau.php](http://www.fournaise.info/eruptions_tableau.php)

### Carte 1.1 : Le relief de la Réunion



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

L'urbanisation de l'île est donc contrainte à se concentrer sur le littoral. Pourtant, l'île connaît une croissance démographique spectaculaire qui enregistre une augmentation de 210 000 habitants en 18 ans (de 598 000 en 1990 à 808 000 en 2008)<sup>6</sup>. Les prévisions donnent un million d'habitants à l'horizon 2030. La problématique d'étalement urbain est donc bien réelle à la Réunion. Sur un espace contraint et restreint il faut réussir à agencer une population qui ne cesse de croître à une vitesse importante. La problématique de l'usage du sol est donc au cœur des débats depuis une vingtaine d'années et continue d'alimenter les préoccupations locales. Ainsi, de nombreux auteurs se sont intéressés à cette problématique d'étalement.

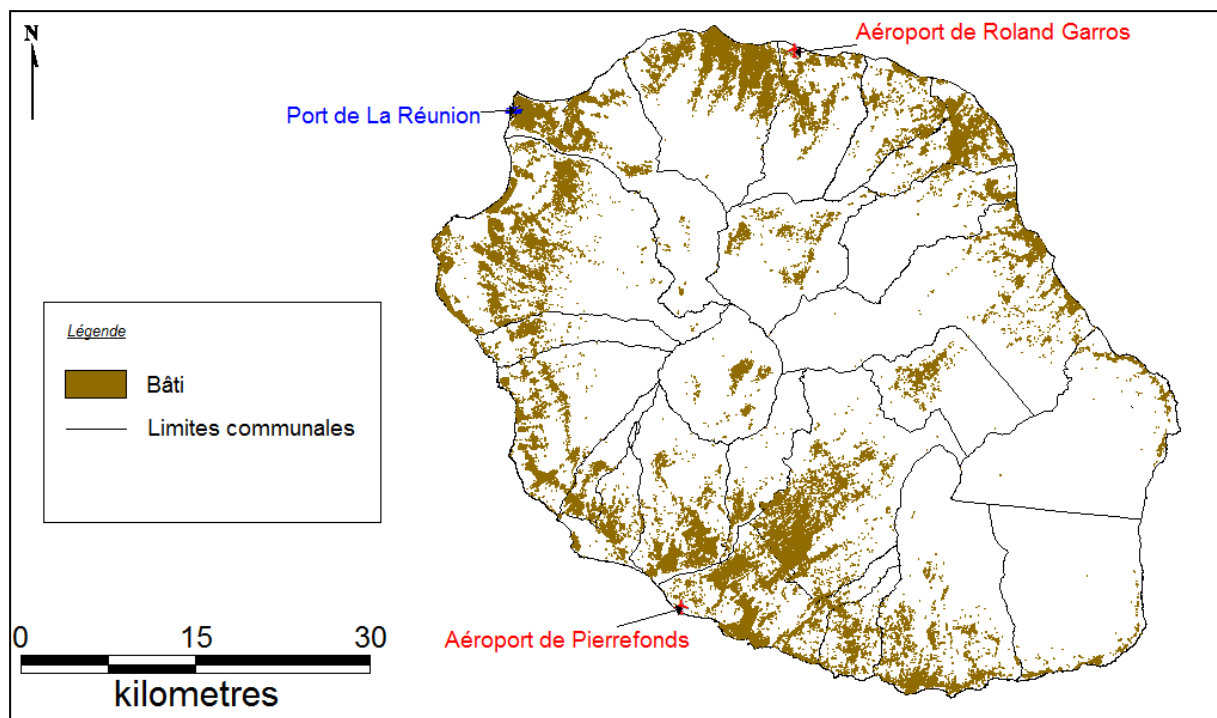
En mettant l'accent sur le bâti et la tâche urbaine, ces travaux ont permis de rendre compte de l'importance de la gestion de l'urbanisation à la Réunion en mettant en avant la domination et pérennisation de cette domination de certaines zones. Ainsi, en 2007, Lajoie fait apparaître l'étalement urbain intensif des zones de Saint-Denis, La Port, Saint-Pierre/Le Tampon, et Saint-André.

Les études urbaines locales à la Réunion sont assez récentes. En effet, le contexte de croissance démographique et urbaine n'est apparu qu'à partir de la départementalisation en 1946 (Châtelain, 1993 ; Baronce, 2009) et il faut attendre les années 1990 pour qu'apparaissent les premières études urbaines à la Réunion. Ainsi, en 1986 Lefèvre réalise une comparaison entre l'organisation de l'espace mauricien et celui de l'espace réunionnais en montrant les différences de développement entre deux anciens espaces coloniaux, l'un

<sup>6</sup> Chiffres INSEE.

étant devenu département français tandis que l'autre est devenu indépendant. Il faut attendre 1993 pour qu'une analyse de la structure urbaine locale soit effectuée par Châtelain, qui réalise sa thèse sur une comparaison de l'urbanisation des deux principales villes de la Réunion (Saint-Denis et Saint-Pierre) de 1946 à 1991. L'auteur montre notamment l'impact de la départementalisation sur le développement de Saint-Denis et de Saint-Pierre. En 1994, Jauze étudie dans sa thèse le développement urbain de la région Est-Nord-est de l'île en s'appuyant sur une hiérarchisation des centres agglomérés afin de faire apparaître l'armature urbaine. Il s'appuie ainsi, pour définir le fait urbain, sur deux composantes principales : la population et ses fonctions. En 1998, il introduit la notion d'inversion des polarités à la Réunion en traduisant le fait que la population et les activités réunionnaises se concentrent sur le littoral –soit en périphérie géographique- tandis que le centre de l'île est impraticable du fait de son relief difficile. Autre fait marquant, on remarque selon Jauze une ceinture littorale Nord-Ouest qui domine économiquement le reste de l'île. Cette concentration littorale trouve son explication à la fois dans la géographie physique de l'île mais également dans la dépendance de l'île par rapport à l'extérieur. Les populations et activités se concentrent ainsi autour des principaux points d'échanges vers l'extérieur : port et aéroport.

**Carte 1.2 : Localisation du bâti et des principaux points d'échange avec l'extérieur**



Source : BD Topo 2003, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En 1995, Ninon compare dans sa thèse le phénomène de périurbanisation réunionnais à celui de la Métropole. Il fait ainsi apparaître quelques spécificités réunionnaises. Par exemple, les communes réunionnaises sont en général plus étendues que les communes métropolitaines (de l'ordre de 100 km<sup>2</sup> en moyenne contre 14 km<sup>2</sup> en moyenne en métropole). De plus, du fait de l'exiguïté de l'espace aménageable, la discontinuité spatiale est moins nette qu'en métropole.

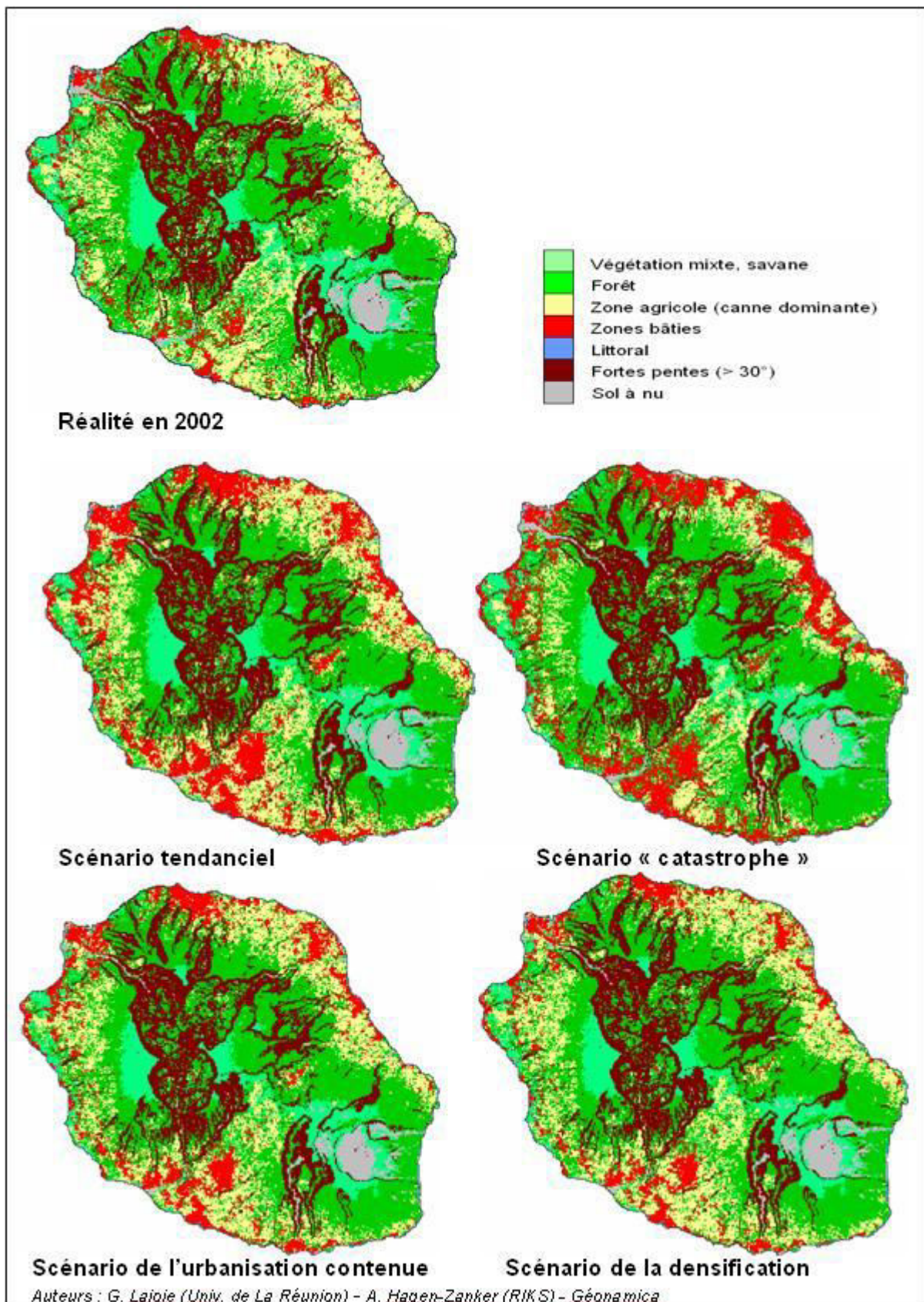
En effet, malgré la grande étendue des communes, le relief difficile ne permet que très peu de marges de manœuvres. D'ailleurs, ces deux constats font que le terme de commune périurbaine est très peu adapté pour le cas réunionnais. En effet, il est préférable de parler d'espace périurbain pour toute étude sur la Réunion (Ninon, 1995).

L'étalement urbain à la Réunion est au cœur des travaux de Gilles Lajoie. Ainsi, en 1999, il étudie pour l'INSEE Réunion l'apparition de cinq nouveaux quartiers (répartis sur la ceinture littorale Nord-Ouest). Ces cinq quartiers viennent accentuer la tâche urbaine et l'auteur compare alors la structure de ces quartiers aux quartiers déjà anciens. En effet, ces quartiers ont vu leur population doubler voire plus de 1990 à 1999. Ces nouveaux quartiers situés dans les zones les plus denses se caractérisent par une population jeune mais le niveau social diffère selon les quartiers. Les quartiers sont le quartier de la Médiathèque à Saint-Denis, Le quartier de Grand Fond-Boucan Canot à Saint-Gilles, la ZAC Saint-Laurent à la Possession, La Chatoire-La Roseraie au Tampon et enfin le quartier de La Convenance à Sainte-Marie. Ainsi, alors que La Chatoire-La Roseraie abrite une population plutôt défavorisée, le quartier de Grand Fond-Boucan Canot constitue plutôt un quartier balnéaire aisé. Ainsi, la formation de nouveau quartier résultent bien d'une croissance démographique importante et la diversité de ces nouveaux quartiers montrent l'urbanisation non maîtrisée de l'île.

En 2004, Lajoie étudie les évolutions socio-économiques et démographiques et met en évidence les évolutions par type de CSP. En 2007, il réalise une prospective territoriale à partir d'un automate cellulaire. Le calibrage du modèle utilisé donne des résultats assez satisfaisants et l'auteur conclue que l'outil utilisé représente un outil précieux pour la prospective territoriale et réalise ainsi, pour illustrer ses propos, différents scénarii d'évolution de la tâche urbaine réunionnaise à l'horizon 2030 : des scénarii d'urbanisation contenue et de densification ainsi que des scénarii d'évolution tendancielle (dans la continuité de l'évolution constatée de 1989 à 2002) et d'évolution catastrophe (l'urbain prend le pas sur les terrains agricoles).



Carte 1.3 : Scenarii d'évolution de la tâche urbaine selon Gilles Lajoie



Source : Gilles Lajoie, 2007, <http://cybergeog.revues.org/11882>

## II.2 Méthodologie appliquée

### Base de données

La base de données utilisée est la base de données infra communale IRIS (Îlots Regroupés pour l'Information Statistique) de l'INSEE. L'IRIS est une zone intermédiaire entre l'îlot – c'est-à-dire le pâté de maison- et le quartier. L'IRIS est le niveau le plus fin pour lesquels on peut disposer de données démographique grâce à l'INSEE.

On distingue en général quatre sortes d'IRIS : les IRIS Habitat, les Iris Activité et les IRIS Divers. Les IRIS Habitat ont une population entre 1 800 et 5 000 habitants. Le type d'habitat réparti sur la zone est homogène et le périmètre de la zone est établi à partir des grandes coupures du tissu urbain c'est-à-dire les vois principales, voies ferrées, cours d'eau, etc. Les IRIS Activité sont définis à partir du nombre de salarié et on recense ainsi au moins 1 000 salariés par IRIS Activité. De plus, les IRIS Activité comptent au moins deux fois plus d'emplois salariés que de population résidente. Enfin, les IRIS Divers constituent de grandes zones spécifiques peu habitées dont la superficie est généralement grande. Il s'agit de zones forestières, portuaires, parcs de loisirs, etc. Enfin, un quatrième type d'IRIS peut être distingué : il s'agit de communes qui n'ont pu être découpées car elles ne correspondent à aucune des définitions précédentes. Le territoire communal entier devient alors un IRIS.

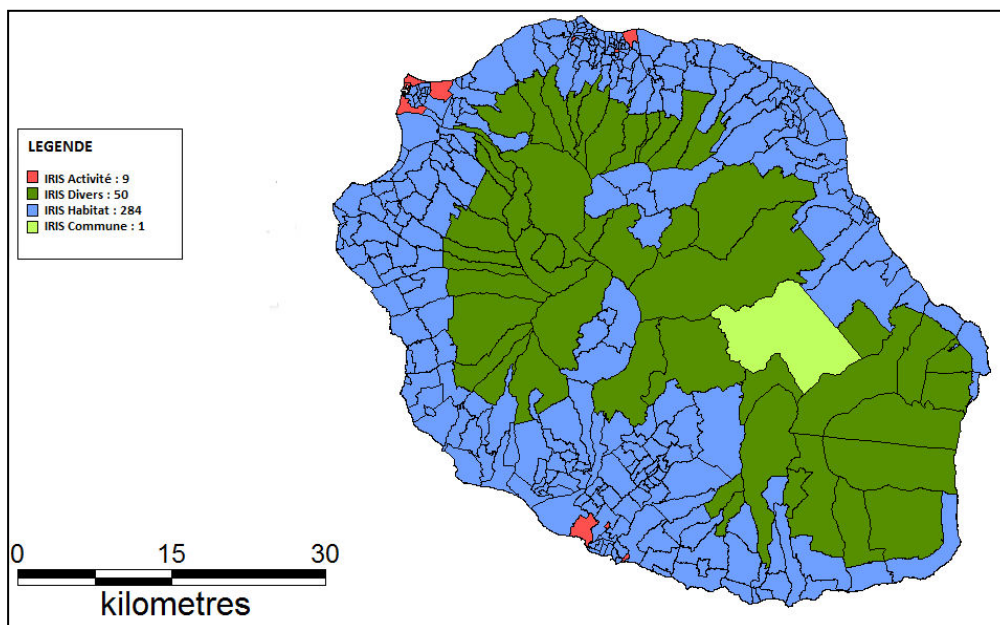
Concernant la Réunion, l'île se subdivise en 344 zones IRIS dont 284 IRIS Habitat, 50 IRIS Divers, 9 IRIS Activité et cas spécifique à la Réunion : 1 IRIS Autre qui constitue en fait le territoire de la commune de la Plaine des Palmistes. La Plaine des Palmistes est la planèze qui relie les deux volcans. D'une superficie de 83 km<sup>2</sup>, la commune compte 4 940 habitants en 2008 et 812 emplois salariés localisés au lieu de travail. La carte 1.4 ci-dessous permet de visualiser la répartition des différents types d'IRIS sur le territoire réunionnais. On constate ainsi que la partie centrale de l'île est essentiellement constituée d'IRIS Divers.

Nous sommes donc en présence d'un certain nombre d'IRIS pour lesquels on compte peu ou pas de population (il s'agit des IRIS Divers). Afin de limiter le biais de notre analyse nous avons donc décidé d'exclure un certain nombre d'IRIS. Deux critères d'exclusions ont alors été choisis :

- les IRIS de moins de 100 habitants sur une des trois années étudiées (1990, 1999 et 2008) sont exclus ;
- les IRIS d'une densité inférieure à 10 hab./km<sup>2</sup> sur une des trois années étudiées.

Nous obtenons ainsi un panel de 297 IRIS analysés.

**Carte 1.4 : Localisation des différents types d'IRIS à la Réunion**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Méthodes de calculs

Nous proposons d'utiliser deux des formes du modèle rang-taille pour étudier les hiérarchies urbaines à la Réunion. Le premier modèle testé est le modèle traditionnel de Zipf-Pareto sous sa forme log-linéaire (cf. éq. 8) et le second modèle est le modèle quadratique de Rosen et Resnick (cf. éq. 9).

C'est la valeur du coefficient de hiérarchisation  $\beta$ , sa significativité et son évolution sur les trois années qui sont analysées.

Le calcul du coefficient de hiérarchisation fait débat. Il existe ainsi deux grands types d'estimateurs : les estimateurs fournis par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) et les estimateurs fournis par les méthodes semi-paramétriques (la méthode la plus connue est celle de Hill (1975)). La méthode choisie dans notre cas est la méthode des moindres carrés ordinaires. Néanmoins, notre échantillon étant petit (297 IRIS analysés), nous devons considérer une correction du modèle et choisissons à cet effet la correction apportée par Gabaix et Ibragimov en 2006. Leur modèle appelé modèle Rang ( $-\frac{1}{2}$ ) semble en effet fournir la meilleure approximation du coefficient de hiérarchisation  $\beta$ , lorsque l'on applique la méthode des MCO (et ce pour les échantillons de grande taille et de petite taille) (Gabaix et Ibragimov, 2006, Schaffar, 2009). Le modèle appliqué prend alors la forme :

$$\ln\left(r_i - \frac{1}{2}\right) = \ln k - \beta \ln s_i \quad (1.4)$$

Avec  $r_i$  et  $s_i$  respectivement le rang et la taille de la ville,  $\beta$  le coefficient de hiérarchisation et  $k$  un paramètre qui dépend de la taille de la plus grande ville.

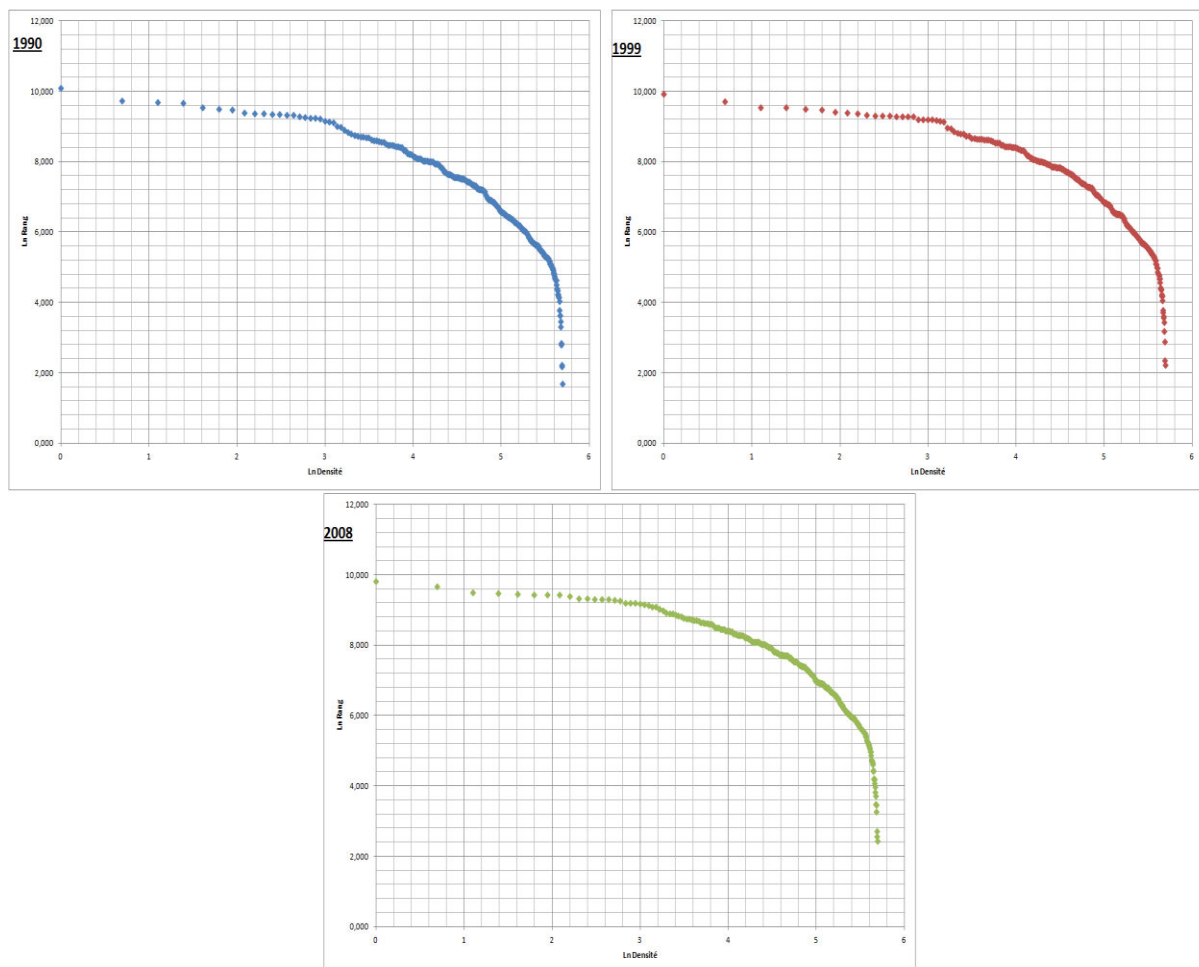


## II.3 Résultats

Les résultats présentés sont issus de calculs réalisés par Schaffar dans le cadre de travaux effectués pour le XLIX<sup>ème</sup> colloque de l'ASRDLF (Schaffar et Bénard, 2012).

La première constatation qui peut être faite est effectuée à partir de l'allure des courbes représentant le logarithme du rang en fonction du logarithme de la taille (Figure 1.3).

**Figure 1.3 : Représentation graphique de la densité urbaine sur l'île de la Réunion, 1990-1999-2008**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Outre l'allure convexe de la courbe qui indique que les IRIS de densité moyenne ont un poids important dans la structure urbaine de l'Île, on constate que la courbe tend vers l'horizontalité sur les trois années. Cela signifie donc que la distribution des IRIS selon leur densité démographique est marquée par le nombre important d'IRIS avec des valeurs de densité démographique proche de la médiane.

Le tableau 1 donne les résultats de l'estimation du coefficient de hiérarchisation pour la distribution des densités urbaines pour les trois années de référence, 1990, 1999 et 2008, ainsi que ceux de l'estimation des paramètres du modèle quadratique de Rosen et Resnick.

**Tableau 1.1 : Coefficients calculés des modèles de Zipf-Pareto et quadratique de Rosen et Resnick 1990- 1999-2008**

Date	1990	1999	2008
<b><u>Coef modèle Zipf-Pareto</u></b>			
$\beta$	0,522	0,528	0,522
<b>Ecart-type</b>			
$\sigma$	0,043	0.043	0.043
<b><u>Coefs modèle quadratique</u></b>			
$\beta$	0.789(***)	0.985 (***)	1.025 (***)
$\sigma(\beta)$	0.002	0.0026	0.003
$\delta$	-0.104 (***)	-0.118 (***)	-0.121 (***)
$\sigma(\delta)$	9.8 10 <sup>-6</sup>	1.5 10 <sup>-5</sup>	1.8 10 <sup>-5</sup>
*** : valeurs significatives			

Source : données INSEE, calculs effectués par Schaffar (Schaffar et Bénard, 2012)

A l'observation des résultats, plusieurs constats s'imposent. Dans un premier temps, si on considère le modèle de Zipf-Pareto, on constate un coefficient de hiérarchisation  $\beta$  assez faible sur les trois années (0.52). Cela signifie donc que l'on est en présence d'une distribution où quelques IRIS affichent des valeurs synonymes de densité démographique forte, tandis que la majorité des IRIS affichent des densités faibles et assez proches de la médiane. Cela confirme ainsi le premier constat effectué à partir de l'allure des courbes.

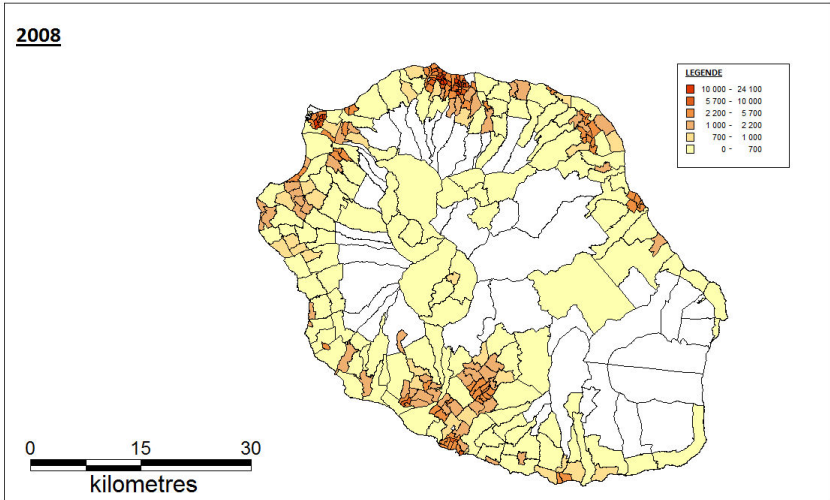
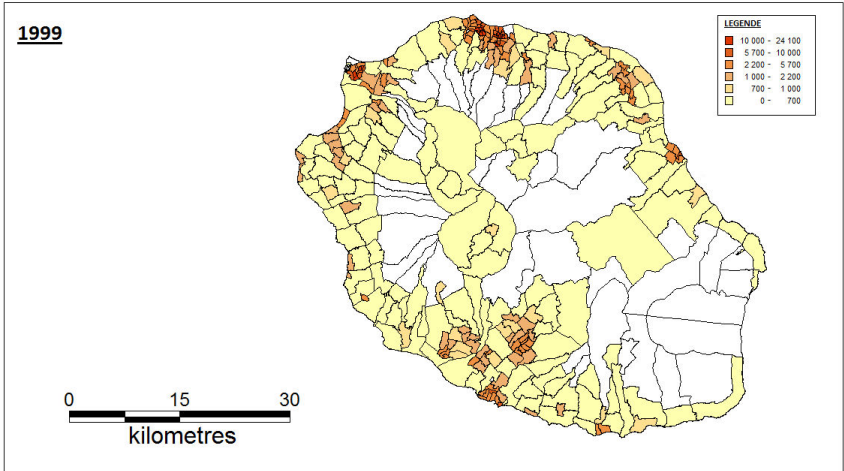
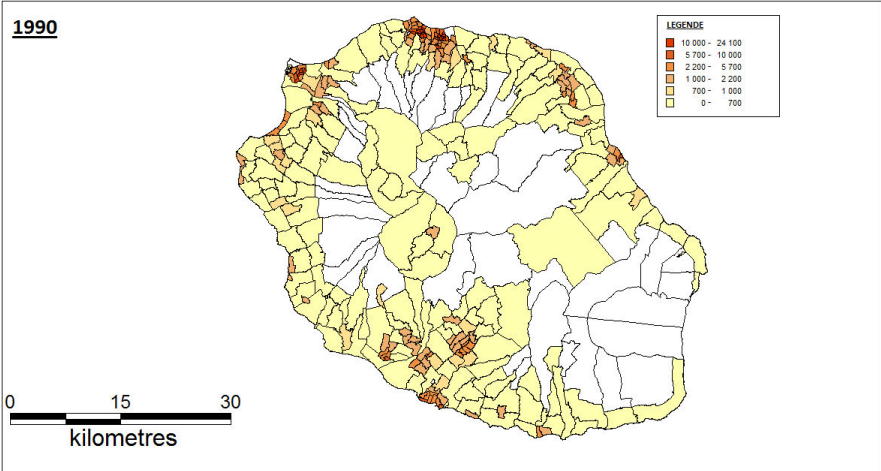
Dans un second temps, on constate que le coefficient de hiérarchisation  $\beta$  prend des valeurs plus fortes dans le modèle de Rosen et Resnick, mais c'est la valeur du coefficient quadratique  $\delta$  qui va attirer notre attention. En effet, on constate un coefficient négatif sur les trois années, ce qui induit une courbe convexe, mais proche de 0. Cela signifie donc que la courbe reste quand même assez plate. On est donc bien en présence d'une structure urbaine où les IRIS moyen ont un poids importants et affichent des densités assez proches de la valeur médiane.

Enfin, il convient de comparer la constance de ces résultats à l'évolution de la densité sur la période étudiée. En effet, la densité médiane augmente et passe de 850 hab/km<sup>2</sup> en 1990 à 950 hab/km<sup>2</sup> en 1998 pour atteindre les 1030 hab/km<sup>2</sup>. Cette augmentation est due au dynamisme démographique de l'île qui a ainsi enregistré une augmentation de 35% de sa population en 18 ans. Néanmoins, malgré cette croissance, la structuration de son processus d'urbanisation (étalement/polarisation urbaine) ne se trouve pas fondamentalement modifiée. Ainsi, malgré une augmentation conséquente de la population de l'île, la distribution des densités urbaines reste quasi-inchangée et étonnement stable. Ceci signifie que la structure urbaine de l'île reste la même et que l'on n'observe pas de nouvelles polarisations urbaines : le modèle réunionnais

d'urbanisation reste fondamentalement marqué par une densité démographique au km<sup>2</sup> faible et un étalement urbain élevé.

Une analyse cartographique des densités urbaines à la Réunion permet de visualiser cette organisation (cf. carte 1.5). On remarque ainsi que les zones très denses se situent dès 1990 dans les régions de Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre et qu'au fil des années ces zones confirment leur primatie en s'étendant aux IRIS alentours. Cet étalement des zones denses est plus évident dans le cas de la ville de Saint-Pierre.

Carte 1.5 : Evolution des densités de 1990 à 2008



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

De façon claire, l'utilisation des modèles rang-taille dans l'analyse de la densité urbaine montre, dans le cas de La Réunion, un paysage urbain étalé et peu évolutif, malgré la forte croissance démographique. Cette dernière se répercute par une augmentation de la densité démographique de façon relativement équilibrée sans créer des effets de polarisation forts et/ou des nouveaux déséquilibres spatiaux.

Néanmoins, en s'appuyant sur l'échelle des IRIS, nous considérons un espace continu partitionné en petites surfaces. Ces résultats souffrent alors de l'hypothèse d'un éventuel biais lié à l'existence d'effets d'auto-corrélation spatiale.

## II.4 « Discussion des résultats »

En effet, en effectuant notre analyse sur des variables géolocalisées, nous offrons la possibilité qu'un biais puisse intervenir dans nos résultats. Afin de confirmer ou d'infirmer l'existence de ce biais, nous proposons alors une méthodologie en trois étapes.

Dans un premier temps, nous proposons de calculer l'indice I de Moran afin de distinguer sur l'ensemble des IRIS étudiés, l'existence ou pas d'autocorrélation spatiale. Le I de Moran (1948), comme le c de Geary, est un indice basé sur la moyenne permettant de calculer des effets d'autocorrélation spatiale. Globalement, les indices de mesure des effets d'autocorrélation spatiale sont connus et maîtrisés aujourd'hui (Anselin et Griffith, 1998 ; Oliveau, 2010). D'une forme proche du coefficient de corrélation, l'indice I de Moran présente l'avantage d'être facile d'interprétation. Néanmoins, il n'est pas strictement borné à l'intervalle [-1 ; +1]. Rapport de la covariance sur la variance, le I de Moran peut-être interprété comme la part de variance qui peut être expliquée par le voisinage. Si la valeur est proche de -1, cela indique qu'il y a un effet d'autocorrélation spatiale négative tandis qu'une valeur proche de +1 indique de l'autocorrélation spatiale positive. L'indice s'écrit généralement sous la forme suivante :

$$\frac{n}{m} * \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2} \quad (1.5)$$

avec  $z_i$ , la valeur de la variable au point  $i$  (l'unité de référence) et de moyenne  $\bar{z}$ ,

$j$ , les unités voisines du point  $i$ . Ces unités sont définies à partir de la matrice  $w_{ij}$ ,

$n$ , le nombre total d'individus dans l'échantillon  $\sum_i$ ,

$m$ , le nombre total de paires de voisins  $\sum_i \sum_j w_{ij}$ ,

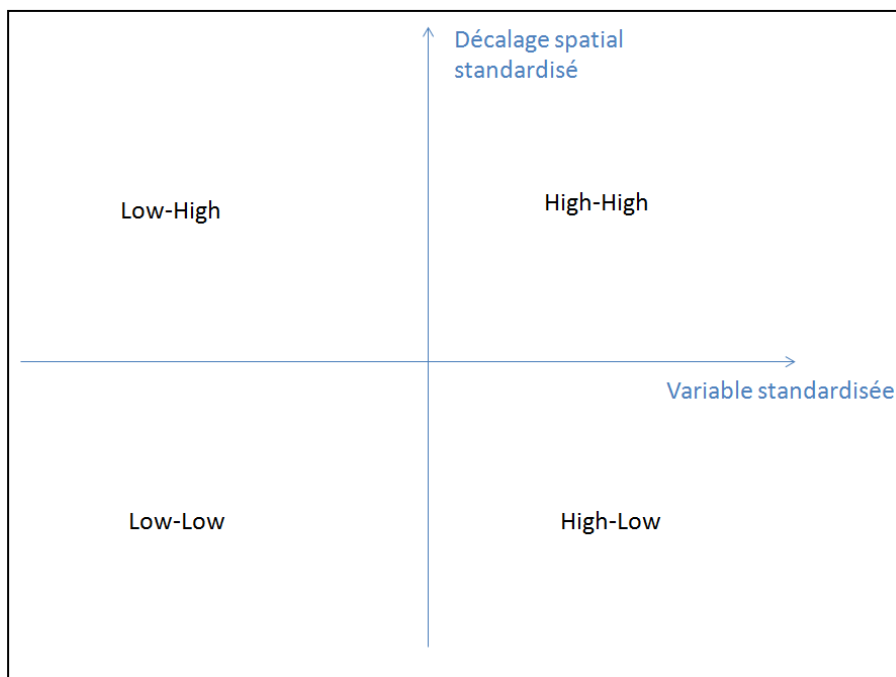
et  $w_{ij}$  est la matrice de pondération.

Dans un second temps, nous proposons d'établir la construction du diagramme de Moran afin de permettre de comparer la valeur (dans notre cas, la densité urbaine) de chaque zone étudiée à la variable aléatoire décalée et de caractériser ainsi le type d'autocorrélation détectée pour chaque zone. La variable aléatoire décalée correspond à la moyenne pondérée de la densité urbaine des IRIS voisins. Le diagramme fait apparaître quatre quadrants qui traduisent quatre types de relations :

- De l'autocorrélation spatiale positive de type High-High : il s'agit de zones présentant des valeurs de densités fortes entourées de zones dont les valeurs de densités sont également fortes.
- De l'autocorrélation spatiale positive de type Low-Low : il s'agit cette fois de zones présentant des valeurs de densités faibles entourées de zones dont les valeurs de densités sont également faibles.
- De l'autocorrélation spatiale négative de type High-Low : il s'agit ici de zones présentant des valeurs de densités fortes entourées de zones dont les valeurs de densités sont faibles.
- De l'autocorrélation spatiale négative de type Low-High: il s'agit de zones présentant des valeurs de densités faibles entourées de zones dont les valeurs de densités sont fortes.

Le diagramme est représenté sous la forme d'un nuage de points dans un repère xy comme suit dans la figure 1.4.

**Figure 1.4 : Représentation graphique du diagramme de Moran**



Conception : F. Bénard, 2012

Enfin, dans un troisième et dernier temps, nous proposons le calcul des indicateurs locaux d'association spatiale (LISA) afin de préciser les résultats du diagramme de Moran. En effet, une des limites de cet outil est qu'il ne fournit pas d'information sur la significativité des regroupements spatiaux. Le diagramme de Moran nécessite donc d'être complété par un autre outil : les LISA, aussi appelés Moran locaux. Développés par Luc Anselin, les LISA permettent de mesurer le degré de ressemblance d'une unité spatiale avec les unités voisines. Deux critères importants doivent être satisfaits par les LISA : tout d'abord, ils doivent donner une indication sur le regroupement spatial significatif de valeurs similaires autour de chaque observation. Ensuite, il doit exister une proportionnalité entre la somme des LISA associée à toutes les observations et l'indicateur global d'association spatiale. Pour le calcul des LISA, l'indice de Moran calculé en premier lieu est décomposé et la part de chaque unité spatiale dans la mesure globale est isolée. On obtient alors des indices locaux (Moran locaux) qui ne sont plus bornés entre -1 et 1. Les indices obtenus peuvent alors être cartographiés et le résultat permet de mettre en évidence les structures spatiales locales.

Dans le cadre de notre analyse, le calcul des indicateurs d'autocorrélation spatiale sur la densité urbaine à la Réunion amène les conclusions attendues. En effet, le calcul du I du Moran dans le cadre de notre analyse donne des valeurs assez proches de 0 sur les trois années étudiées. On pourrait donc supposer une absence d'effets d'autocorrélation spatiale mais les tests effectués ne permettent pas de rejeter l'hypothèse d'existence d'effets d'autocorrélation spatiale pour les trois années de référence. Le tableau 2 donne les résultats des calculs, ainsi que le nombre d'IRIS pour lesquels nous détectons de l'autocorrélation spatiale.

**Tableau 1.2 : Indice I de Moran 1990-1999-2008**

<b>VARIABLE</b>	<b>I Moran</b>	<b>Esp (I)</b>	<b>Variance (I)</b>	<b>Nombre d'IRIS affichant de l'autocorrélation spatiale/ 297 IRIS étudiés</b>
<b>LNDENS 1990</b>	2.092997e-01	-3.378378e-03	5.421401e-05	131
<b>LNDENS 1999</b>	2.033385e-01	-3.378378e-03	5.424274e-05	138
<b>LNDENS 2008</b>	1.941059e-01	-3.378378e-03	5.417007e-05	136

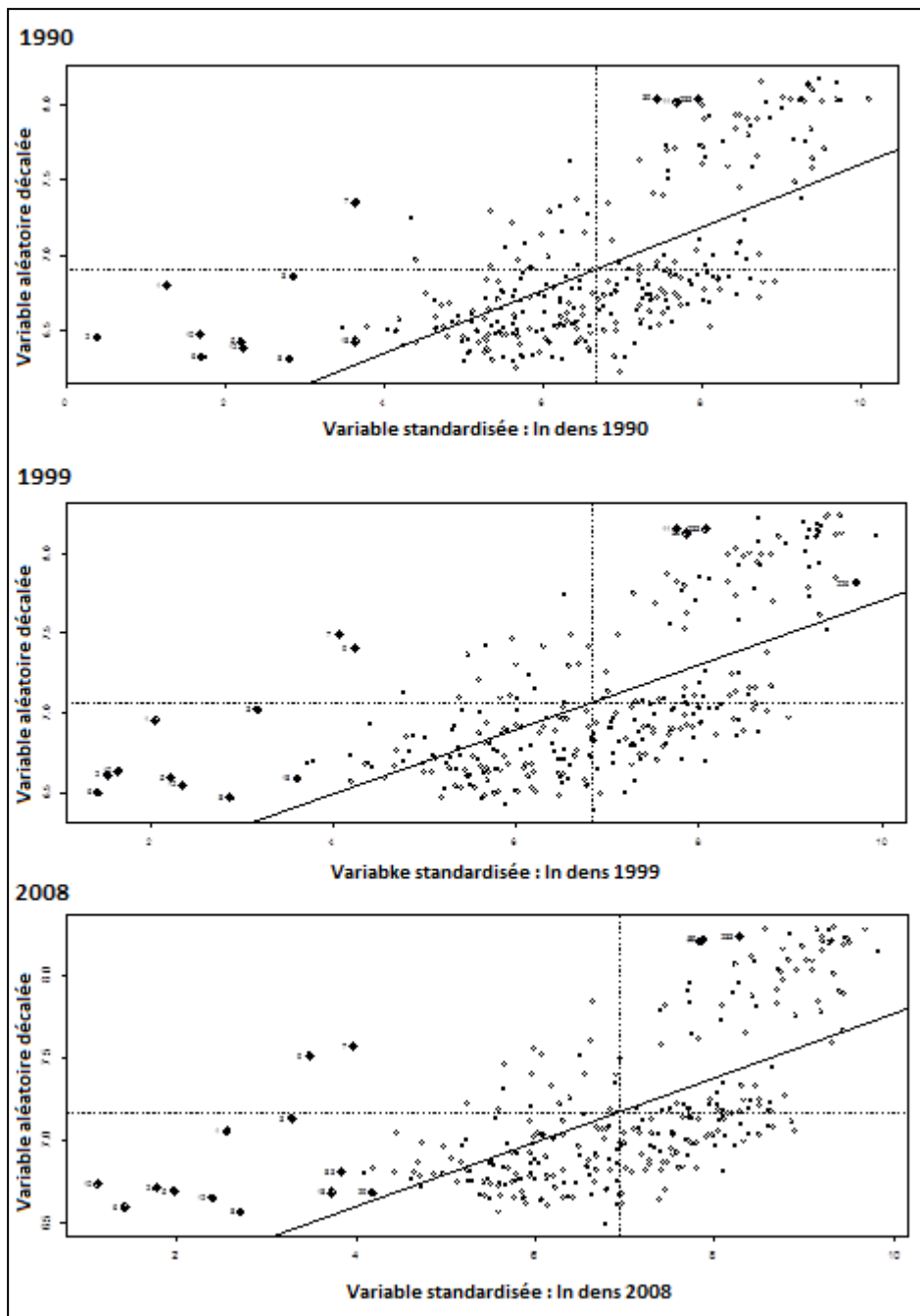
Source : données INSEE, calculs réalisés par Schaffar (Schaffar et Bénard, 2012)

Nous constatons ainsi qu'en 1990, 131 IRIS sur les 297 étudiés affichent de l'autocorrélation spatiale, soit 44% des IRIS étudiés. De même, on compte 46% en 1999 et 2008. Ainsi,

presque la moitié des IRIS étudiés affichent de l'autocorrélation spatiale. Ce constat induit donc que les calculs effectués lors de l'application du modèle rang-taille doivent être repris et corrigés en prenant en compte le biais de l'autocorrélation spatiale. Néanmoins, avant de procéder à de tels changements, observons les résultats du diagramme de Moran et des LISA.

En s'appuyant sur les calculs précédents (cf. Tableau 1.2), nous dressons les diagrammes de Moran, permettant de visualiser les effets d'autocorrélation spatiale pour chacune des années de référence. La figure 1.5 permet de représenter les trois diagrammes.

**Figure 1.5 : Diagrammes de Moran 1990-1999-2008**



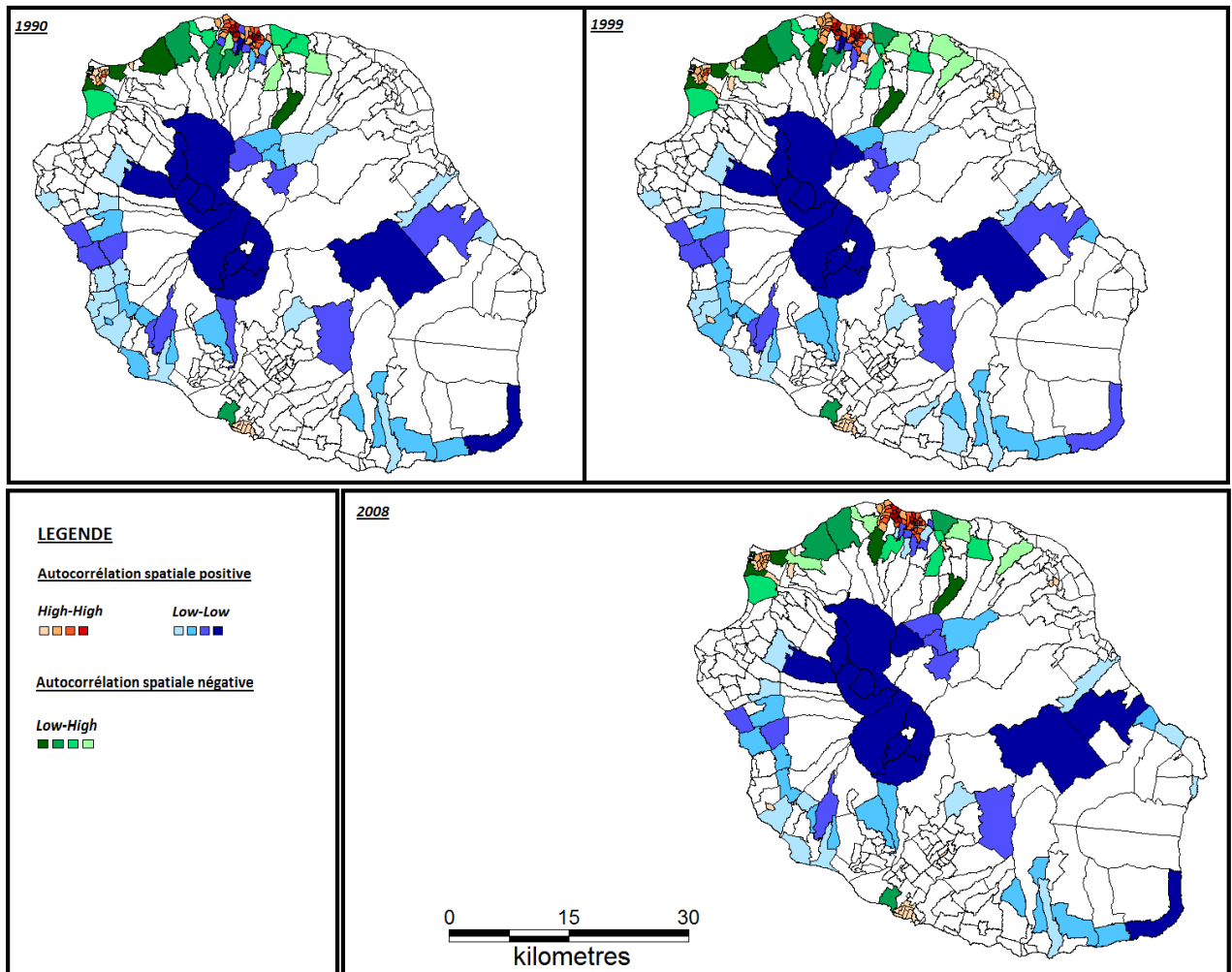
Source : données INSEE, calculs effectués par Schaffar (Schaffar et Bénard, 2012)



Les trois diagrammes de Moran montrent essentiellement l'existence d'autocorrélation positive entre des IRIS avec une faible densité urbaine (Low-Low), ce qui est conforme avec un étalement urbain important. On est en effet en présence de zones faiblement denses entourées de zones affichant également de faibles densités. Afin de comprendre la portée de ces informations, nous calculons les LISA dans le but de localiser les effets d'autocorrélation spatiale. La carte 1.6 permet de visualiser les IRIS pour lesquels l'autocorrélation spatiale détectée est significative à un seuil de 10%. On remarque sur les cartes que seuls quelques IRIS de Saint Denis (au Nord d' l'Île) et du Port (au Nord-Ouest de l'Île) affichent une autocorrélation positive avec des valeurs de densité élevée (en dégradé de rouge sur la carte), mais là encore, on est loin de la formation de centres urbains denses et compacts. On constate de l'autocorrélation spatiale positive de type Low-Low au centre de l'île (dans les cirques), au sud de l'île dans les régions de Saint-Joseph et Saint-Philippe, à l'est dans la région de la Plaine des Palmistes et même à l'ouest, dans la région de Saint-Leu. Dans ces zones, on est en présence de zones peu denses entourées de zones peu denses.

L'analyse des LISA permet ainsi de confirmer les résultats de l'analyse rang-taille et des indices et diagrammes de Moran : les IRIS réunionnais restent fondamentalement diffus, y compris au centre-ville, même si l'on constate une certaine évolution vers davantage de polarisation en 2008.

Carte 1.6 : Autocorrélation spatiale 1990-1999-2008



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

# Conclusion du chapitre

Notre application des modèles rang-taille à la Réunion est originale en deux points : tout d'abord, le zonage choisi (quartier IRIS) est plus fin que les zonages habituellement étudiés (villes) ; ensuite, la densité démographique est préférée à la taille démographique. Cette démarche est donc purement exploratoire mais a permis des résultats tout à fait conforme à la réalité : l'île de la Réunion est marquée par une urbanisation diffuse avec quelques zones affichant de fortes densités. Une analyse effectuée sur la taille démographique produit d'ailleurs les mêmes résultats, avec notamment un coefficient de hiérarchisation inférieur à 1.

Globalement, les résultats obtenus à partir des outils de calcul des effets d'autocorrélation spatiale permettent de confirmer ces résultats. En effet, on constate une urbanisation diffuse dans l'île avec une petite concentration dans la zone Nord-Ouest (à Saint-Denis et au Port) et à moindre mesure dans le Sud, à Saint-Pierre. Le centre de l'île, du fait de son relief est peu habité et on constate une ceinture littorale Nord-Ouest qui domine le reste de l'île. La démarche est donc satisfaisante pour notre analyse.

Les résultats de l'analyse des effets d'autocorrélation spatiale indiquent qu'il faut corriger l'analyse initiale –c'est-à-dire l'application des modèles rang-taille-. Néanmoins, la « simplicité » des résultats de l'autocorrélation spatiale nous amène à nous questionner sur la pertinence de l'échelle d'étude. En effet, notre étude porte sur la Réunion entière avec des données fines à l'échelle des IRIS et les résultats montrent bien les effets de relief et les effets économiques et historiques (Saint-Denis au Nord est la capitale de l'île et les points d'échange avec l'extérieur se trouvent dans la zone Nord-Ouest). Nos résultats viennent donc corroborer les précédents travaux effectués sur la Réunion. Pour aller plus loin, nous proposons une analyse à plus petite échelle. En gardant les données à l'échelle des IRIS, nous proposons donc d'effectuer une analyse non pas à l'échelle globale de la Réunion mais en nous concentrant sur un zonage plus fin. L'échelle des aires urbaines semblent pouvoir cadrer parfaitement à notre analyse. En effet, une aire urbaine en France est une zone continue constituée d'un pôle urbain défini à partir du nombre d'emplois et de couronnes urbaines définies en fonction du nombre d'actifs attirés dans le pôle. Ainsi, l'aire urbaine est une représentation fonctionnelle de la ville. Les chapitres suivants vont donc se concentrer sur cette échelle et tâcher de répondre à une question essentielle : comment s'organise la localisation de la population sur le territoire ?

# CHAPITRE 2

La densité, outil d'analyse de  
la forme urbaine à travers le  
phénomène de l'étalement  
urbain

# Sommaire du chapitre 2

<b>CHAPITRE 2 : La densité, outil d'analyse de la forme urbaine à travers le phénomène de l'étalement urbain .....</b>	<b>39</b>
Introduction du chapitre .....	42
I. Aperçu théorique de la relation densité-distance .....	43
1.1 Le modèle originel : la loi de Clark.....	43
1.2 Premières critiques du modèle de Clark et apparition du modèle quadratique ....	44
1.3 Le modèle de Bussière .....	46
1.3.1 La forme statique .....	47
1.3.2 Le modèle dynamique .....	47
1.3.3 Le modèle amendé.....	48
1.4 D'autres modèles de la densité : approche polycentrique .....	48
1.4.1 Les fonctions de densité sur des modèles polycentriques.....	50
1.4.2 Les fonctions de densité sur des configurations dispersées .....	52
1.5 D'autres indicateurs de forme urbaine .....	53
II. Les différents facteurs explicatifs de la forme urbaine .....	54
II.1 Les facteurs issus des modèles de l'économie urbaine .....	55
II.1.1 Le revenu.....	55
II.1.2 Transports et coûts de transport .....	56
II.1.3 Les coûts fonciers .....	57
II.2 Autres variables explicatives.....	57
II.2.1 La taille de la ville .....	57
II.2.2 L'âge de la ville .....	59
II.2.3 La proportion d'usine localisée en banlieue et le niveau de déformation des villes ( <i>shape distortion</i> ) .....	59
II.2.4 Ségrégation et densité : « The white flight from blight ».....	59
III. Application : Quelles formes urbaines trouvent-on à la Réunion ? Analyse des trois principales aires urbaines .....	60

III.1	Contexte : présentation des trois aires urbaines .....	60
III.1.1	Localisation.....	61
III.1.2	Bases de données.....	66
III.1.1	Identification des centres.....	66
III.2	Indices de concentration.....	71
III.2.1	Indice d'étalement de Lopez et Hynes .....	72
III.2.2	Discussion.....	74
III.3	La forme monocentrique est-elle adaptée aux aires urbaines réunionnaises ?.....	76
III.3.1	Saint-Denis : un espace radioconcentrique.....	77
III.3.2	Saint-Paul-Le Port : un étalement linéaire dépendant des axes de transport .....	80
III.3.3	Saint-Pierre : un étalement diffus, un espace polycentrique ?.....	84
	Conclusion du chapitre.....	97

# Introduction du chapitre

L'étalement urbain constitue l'un des aspects de la forme urbaine qui peut être étudié à partir des densités. La problématique de maîtrise de l'étalement urbain est un défi important de l'aménagement (Frankhauser, 2002). L'une des solutions les plus souvent apportées passe par la densification des espaces. Ainsi, le phénomène d'étalement urbain semble étroitement lié à la notion de densité. Or, la densité peut être appréhendée de diverses façons. Il existe en effet les concepts de densité réelle et densité perçue, densité nette et densité brute, densité de population, densité de bâti et densité d'emploi, etc. (Dugeny, 2005). De manière générale, il s'agit du rapport entre un élément quantifiable (population, emploi, habitation, etc.) et une surface. Dans le cas de notre analyse, nous nous intéressons à la densité de population. Selon le type de représentation utilisée et l'échelle choisie, la densité de population permet des analyses plus ou moins approfondies (Dugeny, 2005). Ainsi, la densité de population à la commune par exemple permet de comparer plusieurs villes entre elles. De même, le nombre d'habitants à l'hectare (ou au km<sup>2</sup>) permet de déterminer la concentration de la population sur un territoire, etc. C'est sur cette dernière perception de la densité de population que nous choisissons de travailler. C'est en effet la répartition et plus précisément la concentration de la population sur le territoire qui fait l'objet de notre questionnement. Dans le chapitre 1, nous avons pu mettre en évidence que l'échelle d'analyse adaptée pour l'étude des densités à La Réunion est une échelle fine, l'analyse de la densité à l'échelle globale de La Réunion ayant en effet déjà été exploitée par les auteurs locaux. Ainsi, nous proposons dans ce chapitre une analyse à l'échelle des trois principales aires urbaines de l'Île. Selon la définition de l'INSEE, une aire urbaine est un territoire continu composé de plusieurs communes et s'illustrant par la présence d'un pôle urbain (pôle de plus de 10 000 emplois) et par des communes attirées par ce pôle urbain et formant ainsi la couronne périurbaine. Les communes faisant partie de la couronne périurbaine envoient au minimum 40% de leur population résidente active dans le pôle. L'aire urbaine selon l'INSEE, pouvant donc se définir à partir de critères urbains et de mobilités, représente ainsi une sorte de « vitrine » de l'interaction transport-urbanisme.

Les premiers travaux en économie urbaine qui ont cherché à comprendre la concentration de la population sur le territoire se sont penchés sur une relation particulière : la relation entre la densité et la distance au centre. En effet, dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle la relation densité-distance au centre a été mise en exergue par Bleicher (1892). Dans quelle mesure, la densité est-elle liée à la distance au centre ? Cette relation a été testée empiriquement dans un certain nombre de grandes métropoles, mais peu d'études se sont intéressées au cas insulaire. En effet, la relation distance-densité peut-elle être observée dans de petites aires urbaines limitées dans l'espace et soumises à de fortes contraintes démographiques ? Après avoir passé en revue les travaux sur la relation densité-distance (I) et les différents facteurs explicatifs de la forme urbaine (II), nous proposons une analyse appliquée au cas réunionnais : cette relation densité-distance peut-elle être observée dans les trois principales aires urbaines de La Réunion (III) ?

# I. Aperçu théorique de la relation densité-distance

Les modèles d'analyse de la densité consistent généralement en une relation entre distance et densité. De Clark (1951) à Bussière (1972), en passant par Newling (1969), les modèles d'analyse de la densité sont abondants et prennent de nombreuses formes mathématiques. Cette partie s'attache à faire un rapide passage en revue des principaux modèles qui peuvent exister.

## I.1 Le modèle originel : la loi de Clark

La relation entre densité et distance au centre a été formulée par Clark (1951) suivant deux hypothèses :

- i. Dans chaque grande ville, le centre est plus dense que les périphéries, à l'exception du *central business district* (CBD) ou centre d'affaires.
- ii. Dans la plupart des villes, avec l'écoulement du temps, la densité de population a tendance à baisser au fil des ans tandis qu'elle augmente en périphérie. Nous avons en effet affaire à l'étalement urbain, deuxième stade du « cycle de vie de l'urbain » appelé *suburbanisation*.

Clark n'est cependant pas le premier auteur à formuler cette relation. On peut en effet citer Stewart en 1947 (Péguy, 2000, Enault, 2003) et Bleicher en 1892 (Goux, 1981, Péguy, 2000, Enault, 2003).

Sous la forme d'une exponentielle négative, elle présente la particularité d'être facile d'interprétation. On a alors :

$$y = Ae^{-bx} \quad (2.1)$$

Avec  $y$  la densité à la distance  $x$  du centre,  $A$  la densité au centre, et  $b$  un paramètre de décroissance, i.e. le gradient de densité.

Une valeur élevée de  $b$  signifie que la densité diminue fortement avec la distance au centre et traduit alors une ville compacte. Inversement, une faible valeur de  $b$  indique que la densité diminue plus lentement et que la ville est alors étalée. Clark insiste sur le fait que  $b$  est tributaire des coûts de transports intra-urbains et notamment de la part du revenu des ménages allouée aux déplacements. Au centre,  $x$  prend la valeur de 0 et par conséquent on a  $y = A$ .

La représentation graphique de cette relation établie par Clark est formulée de la manière suivante :

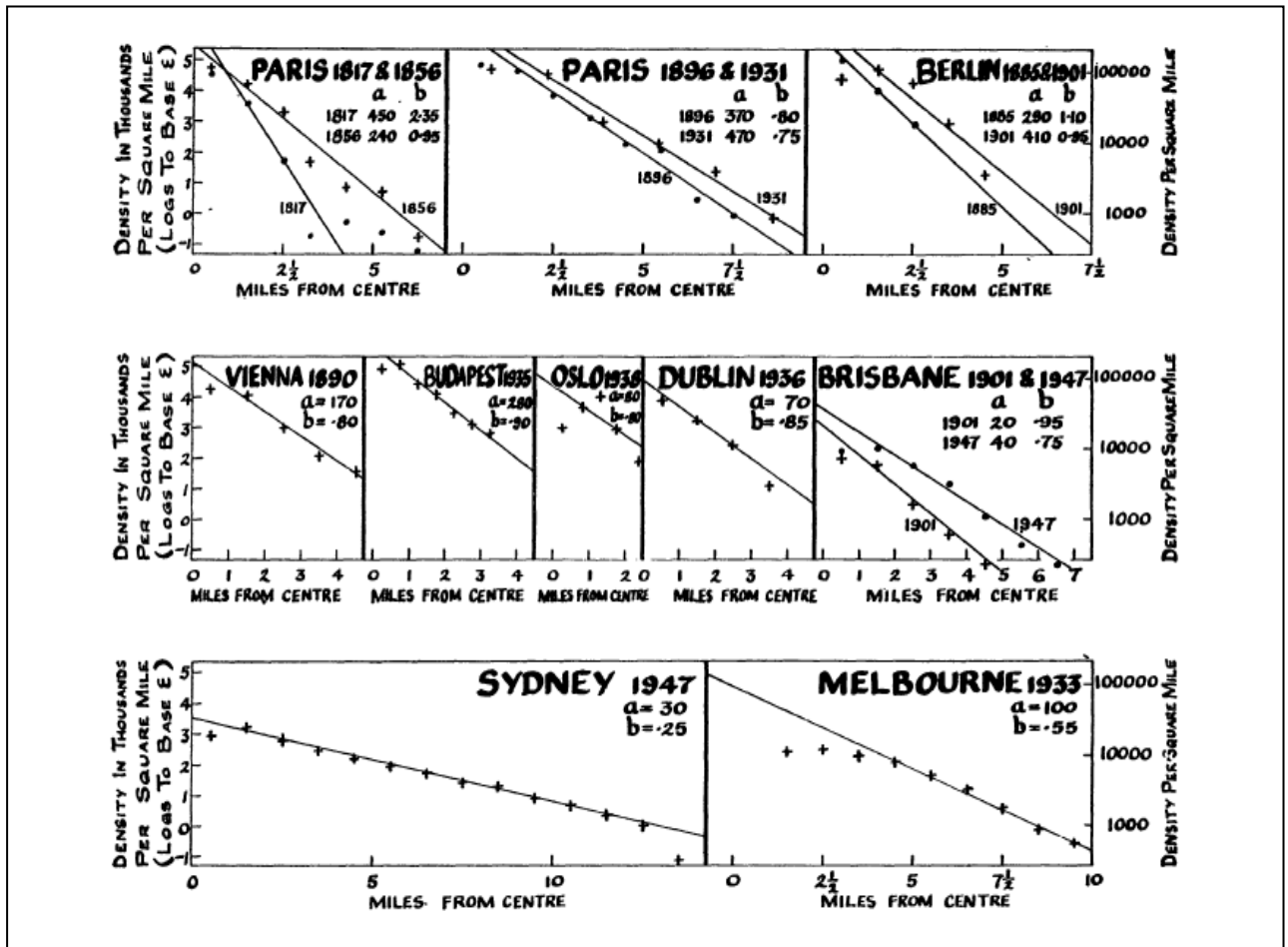
$$\ln y = \ln A - bx \quad (2.2)$$

avec en abscisse  $x$  la distance en miles au centre de la ville et en ordonnée  $\ln y$ , le logarithme de la densité (Figure 2.1). A partir de cette relation, Clark teste la relation distance au centre et



densité sur un certain nombre de grandes villes mondiales de Paris à Sydney, *etc.* (Clark, 1951).

Figure 2.1 : Test de la relation distance-densité selon Clark



Source : Clark, 1951, Urban population densities, p.493

## I.2 Premières critiques du modèle de Clark et apparition du modèle quadratique

Les premières contestations de la loi de Clark ont été proposées dans le même temps par Tanner (1961) et Sherratt (1960) qui préconisent plutôt l'usage d'une fonction de densité exponentielle négative quadratique dépendant donc du carré de la distance (Newling, 1969). La formulation est alors :

$$y = Ae^{-cx^2} \quad (2.3)$$

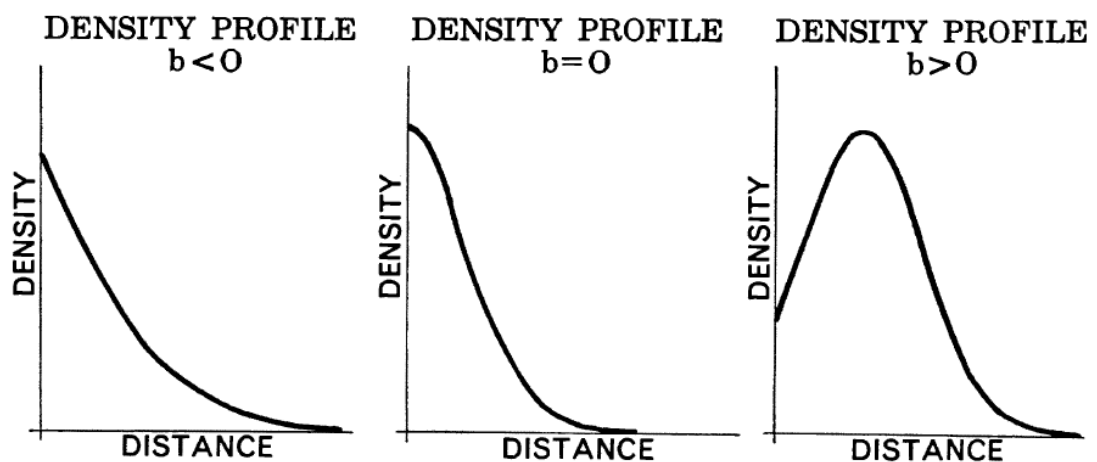
Avec  $y$  la densité de population à une distance  $x$  du centre ;  $A$  la densité de population au centre ; et  $-c$  le taux de changement du logarithme de la densité en fonction de la distance au carré.<sup>7</sup>

Le modèle de Tanner-Sherratt admet une courbe en cloche centrée sur le centre d'affaires (Figure 2.2, cas où  $b=0$ ). Cette formulation a par la suite été améliorée par Newling (1969) qui introduit la notion de cratère de densité qui traduirait la formation au centre d'un espace à fonction d'activités essentiellement tandis que la fonction résidentielle est repoussée dans les périphéries. Il introduit pour cela un paramètre linéaire  $b$  qui mesure le gradient de densité :

$$y = Ae^{bx-cx^2} \quad (2.4)$$

Cette formulation permet d'introduire trois profils types de densité à partir de la valeur du gradient de densité, illustrée dans la figure suivante :

**Figure 2.2 : Les profils de densité selon Newling**



Source : Newling (1969), *The Spatial Variation of Urban Population Densities*, p .243

La notion de cratère de densité est introduite dans le cas où la valeur du gradient est supérieure à 0. En effet, les densités centrales ne sont pas les plus importante. Les villes concentrent alors les emplois au centre et rejettent la fonction résidentielle en périphérie. Ce profil correspond assez bien aux grandes villes américaines.

Dans le cas où  $b$  est inférieur à 0, le profil est plutôt celui de la majorité des villes européennes où la transition entre le centre-ville et la périphérie s'effectue de manière douce, ce qui produit des villes étendues avec des densités de population fortes en proche périphérie. Ce profil correspond assez bien au modèle linéaire de Clark.

<sup>7</sup> La formulation originelle est :  $D_d = D_0 e^{-cd^2}$  Avec  $D_d$  la densité de population à une distance  $d$  du centre ;  $D_0$  la densité de population au centre ; et  $-c$  le taux de changement du logarithme de la densité en fonction de la distance au carré.

Nous l'avons transposée ici afin de rester cohérent dans nos notations.

Enfin, dans le cas où  $b$  est proche de 0, on retrouve le modèle de Tanner-Sherratt. Le profil est celui de villes avec des densités plus élevées au centre qu'en périphérie et la ville est compacte.

Ainsi le modèle de Newling permet d'apporter une généralisation des modèles de densité en intégrant dans son modèle les modèles de Tanner-Sherratt et de Clark. Le modèle de Tanner-Sherratt apparaît en effet comme un cas particulier de la fonction exponentielle quadratique (cas où  $b$  est proche de 0) et le modèle de Clark apparaît comme une bonne approximation linéaire du modèle exponentiel quadratique.

Dans le même temps, de nombreux travaux empiriques ont cherché à tester et valider ces modèles parmi lesquels on peut noter les travaux de Muth (1969), Mills (1970), Mills et Hamilton (1972), Edmonston et al. (1985) qui ont permis de valider la baisse de la densité centrale de population combinée à une baisse des gradients de densité pour un certain nombre de villes américaines sur plusieurs périodes. Hors Etats-Unis on peut noter les études de Mills et Otha (1976) pour le Japon, De Borger (1979) pour la Belgique, Zielinski (1979) pour le Royaume-Uni et Bussière (1972) pour la France et un certain nombre de grandes villes européennes et canadiennes, *etc.* Un récapitulatif assez complet de ce type de travaux est donné dans la thèse de Péguy (2000).

### I.3 Le modèle de Bussière

Le modèle de Bussière (1972) met au point, à partir du modèle de Clark et sous un certain nombre de contraintes, une nouvelle expression permettant d'appréhender la répartition des populations. Ainsi, dans le modèle de Bussière, la ville est munie d'un centre unique concentrant tous les emplois et une grande partie des services et des commerces (Centre d'affaires). C'est autour de ce centre unique que s'organise l'espace, en fonction de l'éloignement au centre. L'analyse de la surface est donc réduite à la variable distance (Mignot et al., 2007).

A cette première hypothèse doit s'ajouter l'homogénéité spatiale, la continuité spatiale et l'isotropie spatiale. Ainsi, l'espace est considéré comme uniforme (exemple de la plaine de Von Thünen). La localisation résidentielle est possible en tout point et il n'existe aucun lieu qui ne soit inaccessible, la continuité spatiale étant valable à la fois pour le relief, les infrastructures routières et les institutions. Enfin, l'isotropie de l'espace suppose que les coûts de transport sont fonction uniquement de la distance, on a alors affaire à une ville circulaire ou les temps d'accès sont identiques quelque soit la direction empruntée (Enault, 2003).

C'est en partant de la maximisation de l'entropie du système urbain que Bussière parvient à retrouver le modèle de Clark :

$$D(x) = \frac{Nb^2}{2\pi} e^{-bx} \quad (2.5)$$

avec  $D(x)$ , la densité de population à une distance  $x$  du centre. Si on considère  $A = \frac{Nb^2}{2\pi}$ , on obtient la relation de Clark.

Le modèle de Bussière propose de raisonner non pas en termes de densités de population mais plutôt en population cumulée. On peut distinguer une forme statique et une forme dynamique au modèle selon qu'on intègre ou non un facteur temps dans la formulation (Péguy, 2000).

### I.3.1 La forme statique

La formulation est la suivante :

$$P(x) = \frac{2A\pi}{b^2} [1 - (1 + bx)e^{-bx}] \quad (2.6)$$

Avec  $P(x)$  la population cumulée à une distance  $x$  du centre,  $A$  est la densité au centre,  $b$  est le gradient de densité.

Cette formulation a été testée par Bussière sur la ville de Paris sur une période allant de 1911 à 1968. Elle suppose que la courbe de la population cumulée a une asymptote horizontale. Cela signifie alors qu'au delà d'une certaine distance il n'y a plus de population additionnelle. Ainsi, l'analyse de la répartition de la population peut être effectuée en fonction de la pente de la courbe de cumul et en fonction de la différence entre les courbes obtenues à deux dates (Mignot et al., 2007).

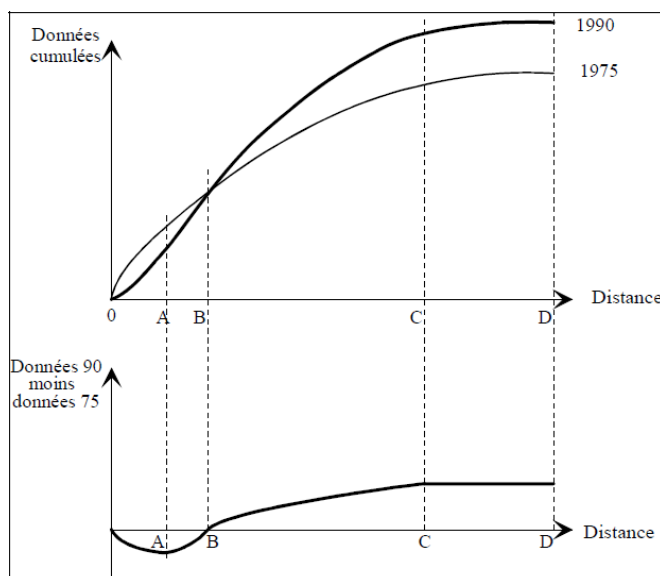
### I.3.2 Le modèle dynamique

Il est possible de tester le modèle de Bussière pour une application dynamique simplement en distinguant plusieurs périodes d'observations avec l'intégration dans la formulation d'un facteur temps noté  $t$ . La formulation est alors :

$$P(x)_t = \frac{2A_t\pi}{b_t^2} [1 - (1 + b_t x)e^{-b_t x}] \quad (2.7)$$

La représentation graphique de ce modèle est donnée par la figure 2.3.

**Figure 2.3 : Représentation graphique du modèle dynamique de Bussière**



Source : Tabourin et al., 1995, p.62

On observe sur ce graphique que la courbe des populations cumulées en  $t + 1$  (1990) est au dessus de la courbe des populations cumulées en  $t$  (1975) à partir du point B. De plus, on remarque que le rayon contenant la population totale de l'aire urbaine a augmenté en passant de OC à OD. Cela reflète les mécanismes de la croissance urbaine avec l'augmentation de la population totale et de l'aire de la ville (Péguy, 2000). En outre, en considérant la courbe de la différence entre les populations cumulées en fonction de la distance au centre on remarque une diminution du centre jusqu'au point B, puis une augmentation jusqu'au point D avant stabilisation. Cela indique qu'en plus de gagner sur l'espace rural l'espace urbain se réorganise, conformément aux principes de la croissance urbaine (Péguy, 2000).

### I.3.3 Le modèle amendé

Faisant suite aux travaux de Bussière, Bonnafous et Tabourin (1996) testent le modèle de Bussière sur l'agglomération lyonnaise. Ils choisissent alors de ne pas se limiter à la stricte agglomération et de considérer un espace plus large. Ainsi, ils constatent qu'au-delà d'une certaine distance, l'ajustement apparaît peu satisfaisant. Ils proposent alors une nouvelle formalisation du modèle tenant compte de la répartition linéaire des populations en milieu non-urbain. Ils introduisent un nouveau facteur  $Kx$  susceptible de traduire cette tendance périphérique. Ce paramètre renverrait à la réalité des infrastructures de transport qui modifient l'accessibilité des espaces en fonction de leur rattachement éventuel à un réseau de communication, rejetant ainsi l'hypothèse de continuité spatiale admise par Bussière dans son modèle originel. On obtient alors :

$$P(x) = \frac{2A\pi}{b^2} [1 - (1 + bx)e^{-bx}] + Kx \quad (2.8)$$

Cette formulation est appelée « modèle amendé » de Bussière. En testant cette nouvelle formulation sur l'agglomération lyonnaise divisée en 12 secteurs sur la base d'un rayon global de 45 km autour de la ville, Bonnafous et Tabourin mettent en évidence des valeurs élevées de  $K$  pour les secteurs fortement équipés en infrastructures de transport et des valeurs faibles voire nulles de  $K$  pour les secteurs dont la dotation en infrastructures de transport est faible.

## I.4 D'autres modèles de la densité : approche polycentrique

Les modèles de densité présentés ci-dessus font l'hypothèse d'une structure urbaine selon un schéma radioconcentrique autour d'un seul centre. Néanmoins, le modèle monocentrique ne suffit à lui seul à expliquer les réalités urbaines : croissance urbaine, décentralisation, multipolarisation des activités économiques sont autant d'arguments remettant en cause la pertinence du modèle monocentrique (Baumont et Le Gallo, 1999, 2000) sans pour autant le discréditer. Il nécessite en fait d'être complété par d'autres approches.

Dans ce chapitre, nous avons avancé que la densité est un indicateur essentiel pour l'étude et l'analyse des configurations urbaines. Cet indicateur induit la connaissance des différents centres urbains puisque la relation traduit l'abaissement des densités avec l'éloignement au centre. On peut alors supposer que selon l'importance du centre, le gradient de densité sera différent. Il convient donc de connaître *a priori* l'importance des centres identifiés. Afin de minimiser cette marge d'erreur, certains auteurs ont mis en place des modèles de densités plus souple (Baumont et Le Gallo, 2000). En effet, la fonction exponentielle ne pouvant traduire fidèlement la réalité dans de nombreux cas, il s'agit d'ajuster la formulation pour mieux restituer la réalité. On peut alors citer les travaux de Kau et Lee (1976) qui appliquent une transformation Box-Cox, qui est généralement reprise dans les travaux empiriques sur la densité (Baumont et Le Gallo, 2000). La fonction densité prend alors la forme :

$$\frac{(D(x)^\varphi - 1)}{\varphi} = D_0 - bx \quad (2.9)$$

avec  $\varphi$  paramètre de la forme fonctionnelle estimé avec le reste de la fonction en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance<sup>8</sup>.

Si  $\varphi = 0$ , la fonction est de la forme exponentielle ; si  $\varphi = 1$ , la fonction est linéairement décroissante (Péguy, 2000).

D'autres formulations qualifiées d'*ad hoc* par Péguy ont été faites pour traduire des irrégularités de la courbe de densité ou de population cumulées : formulation exponentielle, polynomiale, puissance, *etc.* Il existe dans la littérature une grande panoplie d'expression pour expliquer la relation densité-distance. Un récapitulatif a été fourni par Péguy en 2000 :

**Tableau 2.1 : Formes fonctionnelles de la fonction de densité**

Dénominations	Formes fonctionnelles
<b>Exponentielle au carré</b>	$D(x) = D_0 e^{-bx^2}$
<b>Exponentielle quadratique</b>	$D(x) = D_0 e^{bx - cx^2}$
<b>Gamma</b>	$D(x) = D_0 e^{-bx} * x^\beta$
<b>Mills suggested</b>	$D(x) = D_0 e^{(-bx + \frac{\beta}{x})}$
<b>Linéaire</b>	$D(x) = D_0 + bx$
<b>Quadratique</b>	$D(x) = D_0 + bx + \beta x^2$
<b>Log-normale</b>	$D(x) = D_0 e^{[b \ln x + \beta (\ln x)^2]}$

Source : Péguy, 2000, p. 97

<sup>8</sup> Technique qui consiste à construire une fonction de vraisemblance à partir de la fonction de densité, puis à maximiser son logarithme par rapport aux paramètres inconnus.

Ces formulations ont été faites pour rendre compte de cratère de densité, pour rechercher d'éventuelles rupture ou changements dans les courbes, pour mettre en évidence l'existence de rebonds de densité dans des modèles monocentriques et même polycentriques.

Ainsi, des alternatives au modèle monocentrique sont apparues à travers les modèles polycentriques et les modèles dits non-monocentriques. Dans l'approche multicentrique, la structure urbaine est régie par plusieurs centres économiques, qui, comme dans l'approche monocentrique, sont préalablement localisés (Baumont et Le Gallo, 1999). Dans l'approche non-monocentrique on considère que c'est la prise en compte simultanée des choix de localisation des ménages et des firmes qui conduit à la formation de centres. La structure urbaine pourra alors être monocentrique, multicentrique ou dispersée (Baumont et Le Gallo, 1999, 2000).

### I.4.1 Les fonctions de densité sur des modèles polycentriques

Pour l'expression des fonctions de densités dans le cadre de modèles polycentriques, on peut citer les travaux de Heikkila et al. (1989) et Small et Song (1994). L'expression des fonctions de densités sur des modèles de villes polycentriques nécessitent des ajustements pour lesquels il est nécessaire de capter les interactions entre les différents centres. Heikkila et al. (1989) distinguent alors trois configurations possibles :

- Si les centres sont complémentaires, l'influence d'un centre est liée à celles des autres. L'organisation spatiale des activités économiques ne peut donc être appréciée qu'en considérant la totalité des centres puisque chaque centre influe sur les autres. Les individus fréquentent donc tous les centres car certaines activités ne sont localisées que dans certains centres. La fonction de densité est alors le produit des fonctions individuelles. On a donc :

$$D_i = \prod_{j=1}^N f_j(d_{i,j}) \quad (2.10)$$

avec

$D_i$  la densité à la  $i^{\text{ème}}$  unité spatiale,  $j$  l'indice repérant les centres et  $i$  l'indice des unités spatiales,  $d$  la distance entre le centre  $j$  et l'unité  $i$  et  $f_j(d_{ij})$  la fonction de densité individuelle.

- Si les centres sont substituables entre eux, ils offrent tous les mêmes types de services ou de biens : on peut alors considérer qu'ils sont rivaux. Ainsi, on ne considère que les centres importants : les relations de domination l'emportent. Les individus ne fréquentent qu'un seul centre, le plus proche. La fonction de densité correspond alors à l'enveloppe supérieure des fonctions de densités individuelles relatives à un centre unique. On a alors :

$$D_i = \max_{j=1}^N [f_j(d_{i,j})] \quad (2.11)$$

Dans cette configuration, chaque centre est supposé générer son propre gradient de densité (Gaschet et Pouyanne, 2009). Ainsi, l'espace peut être considéré comme un espace « multimonocentrique » (Gaschet, 2000), c'est-à-dire un espace où se juxtapose plusieurs petits espaces monocentriques. Cette configuration correspond à ce qu'on appelle la segmentation spatiale, où l'espace est régi par plusieurs centres indépendants. Si une activité d'un centre se délocalise, les ménages n'accompagnent pas forcément la délocalisation, ce qui conduit à des situations de *spatial mismatch*<sup>9</sup> (Baumont and Le Gallo, 2000). Il faut noter que ce type d'organisation est rarement valable pour toute une agglomération : il s'agit en général de petites parties de l'agglomération urbaine sauf dans le cas de ségrégations raciales, politiques ou religieuses fortes. La ville de Jérusalem (Alperovich et Deutsch, 1996) et les villes nord-américaines forment de parfaits exemples de segmentation spatiale (Baumont et Le Gallo, 2000).

- Enfin, si les centres ne répondent à aucune des deux conditions précédentes, c'est-à-dire qu'ils ne sont ni parfaitement complémentaires, ni parfaitement substituables, la fonction de densité est alors égale à la somme des fonctions individuelles. On obtient alors la relation :

$$D_i = \sum_{j=1}^N [f_j(d_{i,j})] \quad (2.12)$$

Dans cette dernière configuration, les relations doubles de complémentarité et de substituabilité établies conduisent à une structure hiérarchique (Baumont et Le Gallo, 2000). Cela induit alors, dans les approches empiriques, la distinction d'un centre dominant (qui correspond souvent au centre d'affaires CBD) et de centres secondaires qui seront complémentaires ou substituables (Baumont et Le Gallo, 2000). Dans les études empiriques, afin de rendre compte du caractère substituable et/ou complémentaire des centres à travers cette dernière relation, on considère la relation suivante :

$$D_i = \sum_{j=1}^N a_j e^{-b_j d_{ij}} + E_i \quad \text{avec} \quad i = 1, \dots, I \quad (2.13)$$

Avec  $D_i$  la densité de population ou d'emplois dans la zone  $i$ ,  $d_{ij}$  représente la distance entre la zone  $i$  et le centre  $j$ ,  $a_j$  et  $b_j$  sont des paramètres à estimer associés à chaque centre et  $E_i$  est un terme d'erreur associé à chaque zone  $i$ .

---

<sup>9</sup> Cas où des minorités pauvres et non ou qualifiées sont déconnectées spatialement des opportunités d'emplois (Gobillon, 2007).



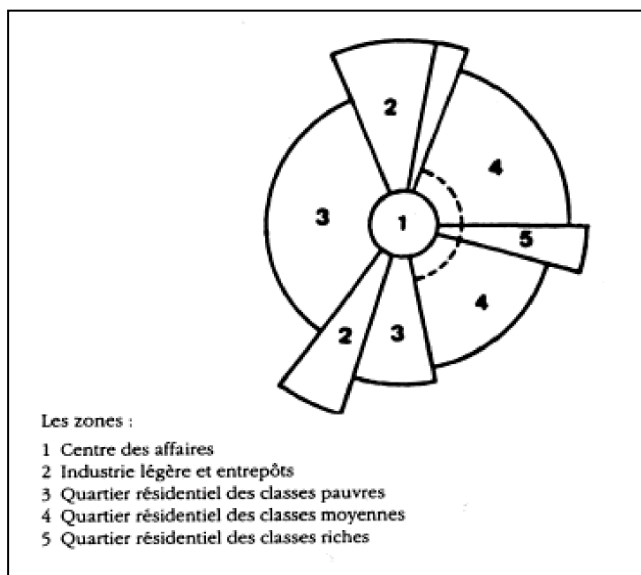
A partir de cette relation, on considère trois cas (Baumont et Le Gallo, 1999) :

- Si les centres sont substituables : pour chaque zone  $i$ , seule la distance au centre le plus proche est retenue, ce qui rappelle l'approche monocentrique.
- Si les centres sont complémentaires : pour chaque zone  $i$ , on considère  $j$  distances (une distance pour chacun des  $j$  centres). On considère en effet qu'un ménage placé dans n'importe quelle zone  $i$  va fréquenter tous les centres.
- Si les interactions entre les centres ne sont pas aussi simples, c'est-à-dire que les centres ne sont pas complémentaires ou substituables : on considère une structure hiérarchisée de l'espace urbain avec plusieurs groupes de centres complémentaires à l'intérieur desquels les centres seront substituables. On prend alors en compte pour chaque zone  $i$  quelques distances à des centres importants ainsi que la distance au centre le plus proche – voire aux deux centres les plus proches. Parmi les centres importants le CBD est le centre de niveau hiérarchique le plus élevé.

## I.4.2 Les fonctions de densité sur des configurations dispersées

La structure urbaine radioconcentrique n'a jamais fait l'unanimité. De nombreuses contestations on en effet été faite à l'image de Hoyt en 1939 qui traduit de manière empirique sur des villes américaines une organisation suivant des cônes à partir du centre, concentrant certains types d'activités (figure 2.4).

**Figure 2.4 : Découpage de la ville en secteurs selon Hoyt (1939)**



Source : Camagni, 1996, p.71

Dans le découpage sectoriel de Hoyt, toutes les fonctions de production ne sont donc pas concentrées dans le CBD. Dans la même logique que Hoyt, Ullman et Harris définissent en 1945 un modèle polynucléaire qui considère qu'une agglomération se compose de plusieurs

noyaux caractérisés par leur fonction différente et articulés par des axes de transport. Les noyaux sont reliés les uns aux autres : ainsi certaines fonctions s'attirent tandis que d'autres se repoussent (Cambien, 2010).

Généralement, en opposition au modèle monocentrique circulaire, c'est le modèle multacentrique qui est avancé. Néanmoins, la remise en cause de l'hypothèse monocentrique ne doit pas nécessairement conduire à l'émergence d'une configuration multacentrique (Baumont and Le Gallo, 2000). En effet, on peut voir apparaître des configurations dispersées : il s'agit de configurations où l'influence du CBD n'est pas exclusive mais où il n'existe pas de centres secondaires. Il y a dispersion au sein de l'aire urbaine des opportunités d'emplois. L'expression de la densité au sein de ce type de configuration est alors (Song, 1994) :

$$D_i = e^{\alpha_1} A_i^{\alpha_2} e^{\varepsilon_i} \quad \text{avec} \quad A_i = \frac{\sum_j E_j e^{-\alpha d_{ij}}}{\sum_j E_j} \quad (2.14)$$

Avec  $A_i$  un indicateur de l'accessibilité de la zone  $i$  à toutes les zones  $j$  concentrant de l'emploi,  $\alpha$  un paramètre à estimer et mesurant la friction de la distance et  $E_j$  la quantité d'emplois dans la zone  $j$ . On retrouve là les notions de force attractive et de force répulsive du modèle monocentrique. En fait, la fonction dispersée n'est qu'une généralisation des fonctions mono et polycentriques (Song, 1994).

## I.5 D'autres indicateurs de forme urbaine

Limiter l'analyse de l'étalement urbain aux modèles basés sur la densité présentés précédemment peut s'avérer discutable. En effet, les modèles de Clark et Bussière par exemple sont fondés sur un certain nombre d'hypothèses qui limitent leur validité. Ainsi, le caractère monocentrique ou encore l'isotropie de l'espace sont deux hypothèses implicites de ces modèles qui induit l'étude d'un étalement urbain « régulier ». Or, l'étalement urbain présente souvent des irrégularités et l'on peut alors observer des phénomènes de saut-de-mouton ou encore des phénomènes d'étalement en étoile. En effet, l'étalement en saut-de-mouton décrit un étalement qui « saute » des espaces contigus à l'espace urbain qui laissés vacants pour des raisons spéculatives ou politiques pour s'étendre dans des zones plus éloignées. L'étalement en étoile traduit plutôt un étalement basé sur les axes de transport : l'étalement se fait alors à partir des axes de transport et non de manière circulaire à partir du centre ville.

Ainsi, pour caractériser ces types d'étalement, Lopez et Hynes ont défini un indice d'étalement basé sur les densités résidentielles (2003). L'indice repose sur un classement des unités élémentaires de recensement en densité haute et densité basse. Ainsi, la densité de chaque unité élémentaire de recensement est d'abord calculée, puis un classement de ces densités est effectué à partir des seuils suivants : pour une densité supérieure à 3500 hab./km<sup>2</sup>, il s'agit d'un espace de haute densité ; pour une densité comprise entre 200 et 3500 hab./km<sup>2</sup>, il s'agit d'un espace de basse densité ; pour une densité inférieure à 200 hab./km<sup>2</sup>, l'espace

considéré n'est pas un espace urbain et est donc exclu de l'analyse. Le calcul de l'indice d'étalement  $IE$  se présente ensuite sous la forme :

$$IE = \left( \frac{b-h}{100} + 1 \right) * 50 \quad (2.15)$$

avec  $b$  le pourcentage d'unités à basse densité et  $h$  le pourcentage d'unités à haute densité. Les autres paramètres du calcul permettent d'avoir un indice qui varie de 0 à 100. Ainsi, si l'indice d'étalement est proche de 0, on a affaire à un étalement minimal : l'espace étudié est caractérisé par une majorité d'unités à haute densité. Inversement, si l'indice tend vers 100, l'étalement est maximal : l'espace étudié est constitué d'unités à basse densité.

Il existe d'autres méthodes de calculs de l'indice d'étalement. Ainsi, on peut citer Burchfield et al. (2002, 2006) qui, à partir de photos aériennes des Etats-Unis datant de 1976 et 1992, ont divisé le territoire en 8,7 milliards de pixel, soit des espaces élémentaires de 30 mètres sur 30 mètres. Ainsi, le territoire de chaque aire métropolitaine est étudié à partir de ces unités élémentaires et pour chaque unité, on calcule le pourcentage d'espace non construit dans l'unité. Ensuite, une moyenne des pourcentages d'espace non construit est calculée pour toutes les unités de l'aire métropolitaine étudiée.

Par « opposition » à l'indice d'étalement, on peut également citer l'indice de compacité qui permet de mesurer la forme générale d'une zone urbanisée. En effet, il s'agit dans un premier temps de tracer le cercle de rayon minimal circonscrit à la surface construite de la ville puis de calculer le pourcentage de sol effectivement construit à l'intérieur de ce cercle (Angel et al., 2005, Huriot et Bourdeau-Lepage, 2009). L'indice rejoint alors les mêmes objectifs que les indices d'étalement précédemment présentés.

## **II. Les différents facteurs explicatifs de la forme urbaine**

De nombreux travaux ont cherché à expliquer la répartition de la densité, indicateur de la forme urbaine. Les auteurs adoptent alors des méthodologies diverses : soit ils se basent sur leur connaissance des villes étudiées, soit ils s'appuient sur des estimations économétriques avec comme variable à expliquer la densité ou le gradient de densité (Péguy, 2000).

Trois facteurs explicatifs importants dans la localisation des ménages et donc dans la répartition des densités sont donnés par les modèles de l'économie urbaine : les revenus, les coûts de transports (distance, temps de parcours) et les prix fonciers. Les ménages vont en effet arbitrer leur localisation dans l'espace par rapport au centre urbain en fonction de leur revenu, et de la part du loyer et des coûts de transports dans leur revenu. Nous présentons ci-après différents tests empiriques qui sont venus confirmer l'impact de ces trois facteurs sur les formes urbaines. Outre ces trois facteurs, différentes études ont permis de mettre en exergue un certain nombre d'autres facteurs qui sont également présentés dans un deuxième temps.

## **II.1 Les facteurs issus des modèles de l'économie urbaine**

### **II.1.1 Le revenu**

L'explication théorique de la relation entre le revenu et la densité est donnée par les modèles de l'économie urbaine. De nombreux travaux empiriques corroborent ces théories. Alors que la majorité d'entre eux concernent les villes nord américaines, quelques études s'intéressent néanmoins à d'autres espaces urbains, en Europe et en Asie par exemple. Nous proposons ici d'en relater quelques uns de manière chronologique. Ainsi, en 1970, Mills tente la construction d'un modèle permettant d'expliquer la densité à partir de nombreuses variables exogènes parmi lesquelles les revenus des ménages. En 1983, Brueckner et Fansler valident l'impact du revenu sur les formes urbaines à travers une étude sur l'étalement urbain de 40 aires urbaines américaines en 1970. En 1980, Mills et Tan concluent en une relation entre revenus et gradients de densité. Ils présentent ainsi sous forme de tableau la relation entre gradient de densité moyenne, la taille des villes et le PIB par habitant. Ainsi, selon leur étude, les villes pour lesquelles les gradients sont les plus faibles sont aussi celles qui ont les revenus les plus importants. C'est par exemple le cas des Etats-Unis. Néanmoins, ils admettent que ce résultat n'est pas général et qu'il peut y avoir des exceptions. Ainsi, en comparant les villes du Japon à celles du Brésil, le revenu par tête au Japon est plus élevé alors que les villes du Brésil sont beaucoup plus étalées (Péguy, 2000). En 1987, Carlino et Mills, dans une étude sur la population totale et la densité de l'emploi manufacturier dans plus de 3000 villes américaines, estiment qu'une augmentation de 10% du revenu familial conduit à une augmentation de 7,9% de la densité de l'emploi manufacturier ainsi qu'à une augmentation de 5,5% de la densité de population. En 1991, Zheng étudie la densité dans la région de Tokyo pour la période 1975-1985 et met en exergue une périurbanisation importante sur tout le périmètre d'étude tandis que la région centrale affiche trois configurations spatiales différentes. L'auteur établit un modèle afin d'identifier les déterminants des dynamiques spatiales en jeu et remarque alors que l'augmentation des revenus renforce l'étalement urbain. En 1992, Margo effectue le même type d'étude sur 91 aires métropolitaines américaines et attribue un peu plus de 40% de la croissance des banlieues à la hausse des revenus des ménages. En 1994, Thurston et Yezer utilisent la pente de la fonction de densité pour mesurer le niveau de centralisation et concluent que la suburbanisation de la population résidentielle est renforcée par l'augmentation des revenus. En 1998, Jordan et al. analysent et mesurent les différences dans les taux de suburbanisation des villes américaines affichant une configuration spatiale monocentrique dans les années 1980. L'une de leurs conclusions est que les variables qui caractérisent l'espace et notamment la différence entre le CBD et sa périphérie –le revenu par exemple- sont importantes pour expliquer le taux de décentralisation, c'est-à-dire les gradients de densité. Cette relation entre revenu et suburbanisation est d'ailleurs plus complexe : en effet, le revenu n'est pas qu'un simple indicateur de forme urbaine (et donc de suburbanisation), il est également un facteur causal. En effet, la suburbanisation est une forme d'étalement urbain qui se distingue de la

périurbanisation par le fait qu'elle atteint des zones périphériques encore plus éloignée de l'agglomération (Pouyanne, 2004). Or, ces nouvelles zones sont accessibles grâce à la démocratisation de l'automobile dans les pays occidentaux au XXème siècle, qui a permis aux ménages de s'installer de plus en plus loin du centre. Commencé dès le début du XXème siècle avec Henri Ford, l'essor de la voiture individuelle a connu son âge d'or durant les Trente Glorieuses grâce à l'augmentation du pouvoir d'achat des classes moyennes (Chevallier, 2009).

## II.1.2 Transports et coûts de transport

Outre l'impact de la voiture individuelle, d'autres aspects du transport ont un rôle déterminant pour expliquer les formes urbaines. Le coût de transport subi par les ménages a été notamment mis en avant dans les théories de l'économie urbaine. Les coûts de transport peuvent alors être appréhendés à partir d'un certain nombre d'indicateurs allant du coût généralisé qui représente le coût global ou les distances parcourues, l'accessibilité et les temps de parcours, etc. D'autres indicateurs tels que les taux de motorisation, les densités d'infrastructures de transport, le montant des investissements dans le secteur transport, etc., peuvent également être de très bons indicateurs. Pourtant, les tests de cette relation n'ont pas été aussi prolifiques que les tests sur le revenu.

Il existe de nombreux travaux empiriques pour valider l'impact des coûts de transports dans les configurations spatiales. Les formes urbaines étant analysées à travers les densités d'emplois et de population, ces travaux confirment que l'augmentation des coûts de transport limite l'étalement urbain et augmente les densités. Ainsi, en 1991, Zheng réalise un modèle explicatif de la dispersion de la population dans la région de Tokyo et conclue que non seulement l'augmentation des revenus renforce l'étalement urbain, mais la baisse des coûts de transports joue également un rôle important. Cette baisse des coûts de transport peut d'ailleurs s'appréhender à travers le développement du système de transport. On constate en effet qu'un développement soutenu du système de transport, c'est-à-dire un réseau de transport en commun développé et en adéquation avec le réseau routier, entraîne de forte de densité et limite l'étalement urbain. Ainsi, en 1980, Mills et Tan, dans une étude comparative entre les villes d'Amérique du Sud et les villes de Corée au milieu du XXème siècle, observent que les villes d'Amérique latine disposent de systèmes de transports plus performants et donc des gradients de densité élevés. Les quelques exceptions où les gradients de densités sont faibles et donc les villes sont étalées sont des villes où le système de transport n'est justement pas aussi performant que pour les autres villes. Ainsi, Mills et Tan (1980) valident la causalité entre gradient de densité et développement des systèmes de transports. Le même type d'étude a été réalisé par la suite, pour cette fois ci, une comparaison entre les villes canadiennes et les villes nord américaines. Ainsi, Edmonston et al. (1985) montrent que les métropoles américaines bénéficient de quatre fois plus de voies autoroutières par habitant. Les villes canadiennes sont d'ailleurs beaucoup plus compactes que les villes américaines. Cela permet d'expliquer la part de l'utilisation des transports collectifs plus élevée au Canada qu'aux Etats-Unis (25 % contre 15% seulement aux Etats-Unis) (Péguy, 2000).

Cette relation de causalité n'est pas inéluctable. En effet, au cours des dernières décennies, les investissements dans les transports collectifs se sont multipliés dans les pays développés, ce qui s'est traduit par un accroissement du nombre de lignes, de fréquence, une multiplication des modes et donc un gain de temps pour les usagers des transports collectifs. Ces progrès renforcent l'attrait des centres urbains qui possèdent un réseau de transport développé et devrait donc limiter l'étalement urbain. Néanmoins, le développement du réseau de transport collectif se heurte à des problèmes de foncier qui ralentissent le développement. Ainsi, si nous prenons l'exemple de la Grande Bretagne, les améliorations en termes de transport collectif n'ont pas suffi à freiner l'extension de la ville (Hall, 1997).

### II.1.3 Les coûts fonciers

L'impact des coûts fonciers dans les choix de localisation des ménages et par conséquent la causalité entre coûts fonciers et densité ou étalement urbain a été démontré grâce aux théories de localisation et théories de la rente. Cependant, les travaux empiriques permettant de valider cette hypothèse dans le cas réel sont difficiles à trouver. Néanmoins, on peut citer Tiebout (1956) qui met en exergue que le comportement fiscal des collectivités permet de contrôler le niveau des populations qui s'installent dans telles ou telles communautés. Les ménages choisissent en effet leur lieu de résidence en fonction du niveau des taxes locales et du nombre et de la qualité des biens et services locaux présents. D'une localisation choisie pour certains niveaux de revenus, on passe à une localisation subie par les populations les moins aisées puisqu'elles ne peuvent accéder à certaines parties du marché résidentiel (Mills et Lubuele, 1997). Ainsi, les coûts fonciers associés au niveau de revenu des ménages influencent bien la répartition de la population sur le territoire.

## II.2 Autres variables explicatives

### II.2.1 La taille de la ville

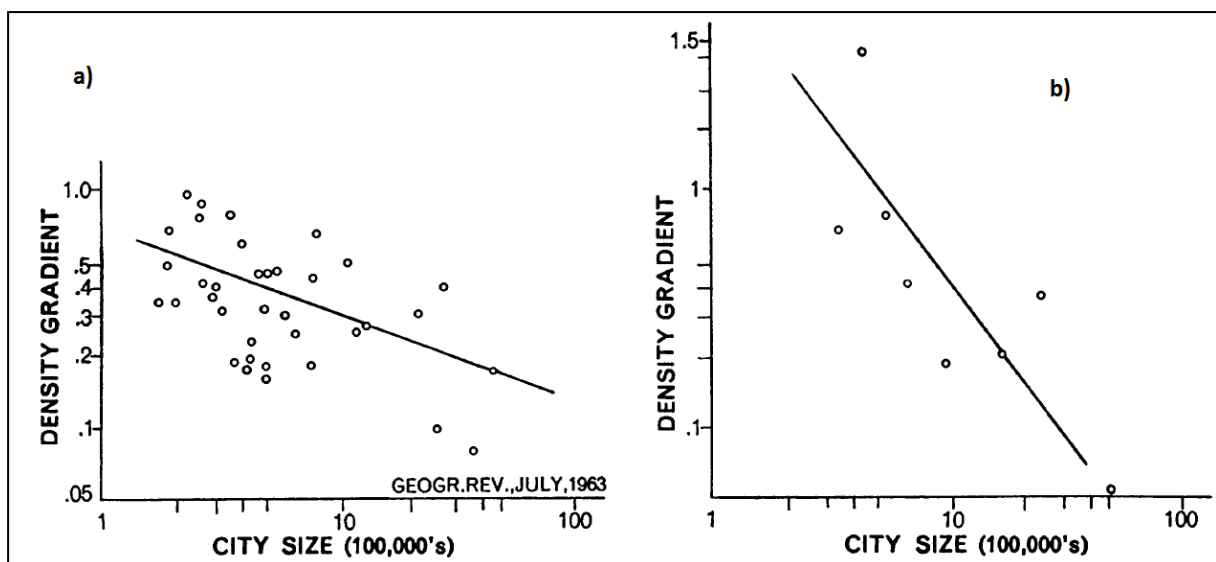
La taille démographique des villes est généralement une variable utilisée pour l'étude des hiérarchies urbaines (cf. Chapitre 1). Il existe néanmoins une série de travaux qui permettent de relier la taille de la ville à la forme urbaine qu'elle prend. Ces travaux signalent en effet que les villes les plus peuplées sont également les plus étalées (Berry et al., 1963, Mills et Tan, 1980). Ainsi, Dynarski, en 1986, met en évidence le rapport de causalité entre l'augmentation de une à deux personnes par ménages au milieu des années 1970 dans les villes américaines et le ralentissement de la suburbanisation observé ces années là. De même en 1963, Berry et al. réalisent un modèle permettant d'expliquer la dispersion de la population à partir de variables telles que la taille de la ville. L'une de leur conclusion principale est que les villes les plus peuplées sont plus étalées que les villes les moins peuplées. A partir d'une comparaison sur 36 villes américaines des années 1950 et une sélection de villes asiatiques,

ils remarquent une pente plus raide pour les villes asiatiques que pour les villes américaines de même taille (Figure 2.5) mais estiment que la conclusion initiale tient toujours, à savoir les villes les moins peuplées ont tendance à être plus compactes. En effet, pour effectuer une réelle comparaison entre les villes des pays occidentaux (Amérique, Europe) et les villes des pays asiatiques, les auteurs précisent qu'une comparaison dans le temps doit être faite. Alors qu'une comparaison sur un instant  $t$  précis peut faire apparaître les mêmes tendances tant à l'Ouest qu'à l'Est, une comparaison dans le temps montre deux différences :

- A l'Ouest, les densités augmentent puis rechutent tandis qu'à l'Est elles augmentent continuellement ;
- A l'Ouest, les gradients de densités baissent avec la croissance de la ville tandis qu'à l'Est, elles restent constantes.

Cela explique donc que les villes des pays asiatiques sont d'ordinaire plus compactes que les villes des pays de l'Ouest.

**Figure 2.5: Rapport entre la taille de la ville et le gradient de densité aux Etats-Unis (a) et en Asie (b)**



Source : Berry et al., 1963, p.397

En 1985, Edmonston et al. s'intéressent également à la relation entre la dispersion de la population (à travers la baisse de la densité centrale) et la taille de la ville. Ainsi, ils démontrent qu'en Amérique du Nord, entre 1941 et 1976, la baisse des densités centrales a été plus forte pour les grandes villes que pour les plus petites villes. Ainsi, ils observent au Canada une baisse de la densité centrale de 87% pour les villes de plus de 500 000 habitants et de 64% pour celle de moins de 250 000 habitants; et une baisse de 62% pour les villes américaines de plus de 1 million d'habitants et une baisse de seulement 34% pour les villes de moins de 100 000 habitants. Les mêmes conclusions ont été obtenues par Gofette-Nagot et Schmitt (1999) pour une étude sur les villes françaises.

## II.2.2 L'âge de la ville

Berry et al. (1963) considèrent l'âge de la ville comme l'indicateur le plus déterminant dans la dispersion des populations. En effet, selon leur théorie, l'âge de la ville et donc le mode de construction du bâti est le facteur le plus significatif dans l'explication de la densité centrale. Ainsi, en proposant une régression linéaire de la densité centrale en prenant pour variable exogène l'âge de la ville (*âge*) et la valeur du gradient de densité (*b*) ils arrivent à expliquer 61% de la variance de la densité centrale, notée  $d_0$ . Leur modèle est le suivant :

$$d_0 = 0.5302 + 0.6362\text{âge} - 3.495b^{-1} \quad (2.16)$$

Ainsi, l'indicateur choisi pour traduire l'âge de la ville est le mode de construction du bâti.

## II.2.3 La proportion d'usine localisée en banlieue et le niveau de déformation des villes (*shape distortion*)

Pour aller plus loin dans leur analyse, Berry et al. (1963) établissent une modélisation logarithmique permettant d'expliquer les gradients de densité à travers trois variables : la taille de la ville ( $P$ ), la proportion d'usine en banlieue ( $M$ ) et ce qu'ils appellent « *shape distortion* » ( $A$ ) qui correspond en fait à une déformation de la configuration spatiale en considérant que la forme standard est le modèle concentrique. Le modèle se présente alors de la manière suivante :

$$\log b = 3.08 - 0.311 \log P - 1.0 \log A + 0.407 \log M \quad (2.17)$$

Le modèle est cependant peu efficace et seulement 40% de la variance de  $b$  est ainsi expliquée.

## II.2.4 Ségrégation et densité : « The white flight from blight »

Le phénomène de "The white flight from blight", précédemment cité, peut également être utilisé en tant qu'indicateur de formes urbaines. En effet, ce phénomène identifié à la fois aux Etats-Unis (Jordan et al., 1998) et en Chine (Wang et Zhou, 1999), traduit le manque d'investissements réalisés dans le centre ville et le dépérissement de ces quartiers qui conduit au départ des classes aisées des zones centrales. Pour rendre compte de ce dépérissement des zones centrales, des statistiques sur la concentration de populations selon l'appartenance ethnique le niveau de revenu, le nombre et la qualité des équipements éducatifs, le niveau de



la criminalité, etc., sont généralement retenues. Aux Etats-Unis on remarque que l'étalement urbain fortement marqué de 1960 à 1970 s'accompagne d'un pourcentage de populations noires croissant dans les centres (Mills et Price, 1984, Mills, 1992). Ainsi, aux Etats-Unis, les années 1960 sont marquées par une augmentation de la population noire, caractérisée par de faibles niveaux de revenus, dans les centres urbains.

### **III. Application : Quelles formes urbaines trouvent-on à la Réunion ? Analyse des trois principales aires urbaines**

Cette troisième partie présente le contexte réunionnais en s'attachant à répondre à la problématique suivante : comment décrire les formes urbaines à la Réunion ? Le cas réunionnais a inspiré de nombreux auteurs locaux tels que Lajoie, Jauze, Ninon, ... (cf. Chapitre 1). Les études effectuées ont permis de quantifier l'étalement urbain mais peu d'études se sont intéressées à la qualification de l'étalement à grande échelle. En effet, les études portent généralement sur l'échelle globale de la Réunion. Nous proposons donc une qualification de l'étalement urbain à La Réunion à grande échelle : notre analyse porte sur les trois principales aires urbaines réunionnaises.

Cette partie s'organise ainsi en trois points : dans un premier temps, le contexte de l'étude est présenté avec la localisation des aires urbaines, la détermination des centres et la présentation des bases de données utilisées ; dans un second temps, nous procédons à une analyse de l'étalement à partir du calcul d'indices de concentration afin d'apporter de premières qualifications de l'étalement ; et dans un troisième et dernier temps, nous proposons trois modèles d'analyse permettant de décrire la répartition de la population de chacune des aires urbaines étudiées.

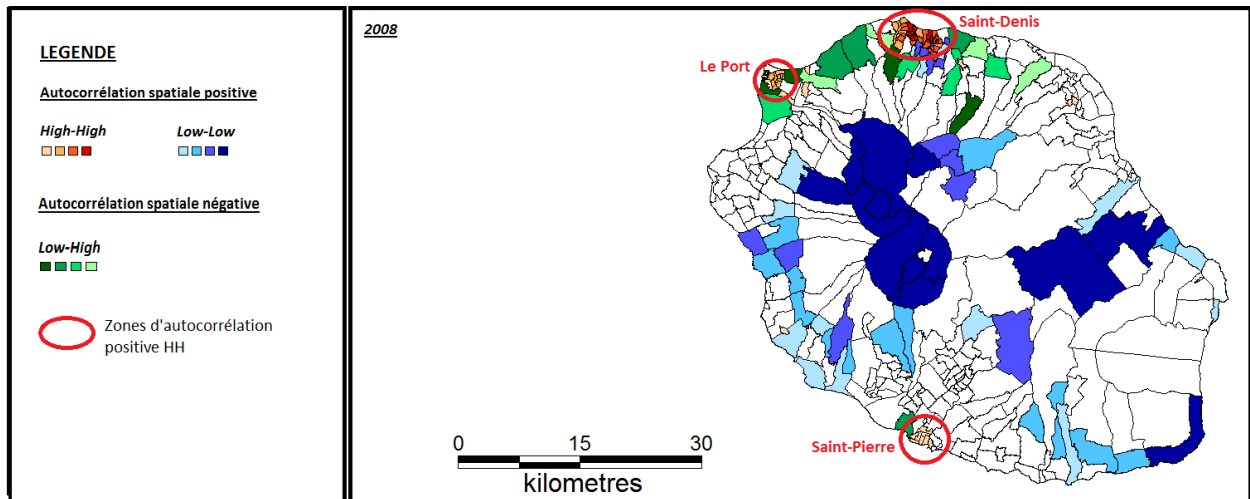
#### **III.1 Contexte : présentation des trois aires urbaines**

La présentation du contexte s'effectue en trois points : tout d'abord nous proposons une localisation des aires urbaines en nous appuyant sur des données INSEE et AGORAH. Dans un second temps, nous proposons une présentation des bases de données utilisées afin de justifier certains choix effectués dans la modélisation. Enfin, nous nous questionnons sur la détermination des centres de chaque aire urbaine.

### III.1.1 Localisation

Les résultats de l'autocorrélation spatiale effectuée dans le chapitre 1 ont permis de mettre en évidence trois zones où l'on retrouve de l'autocorrélation spatiale positive de type High-High : il s'agit donc de zones denses entourées de zones affichant également de fortes densités. Il s'agit plus exactement de zones situées dans les villes de Saint-Denis, Le Port et plus au sud, Saint-Pierre (Carte 2.1).

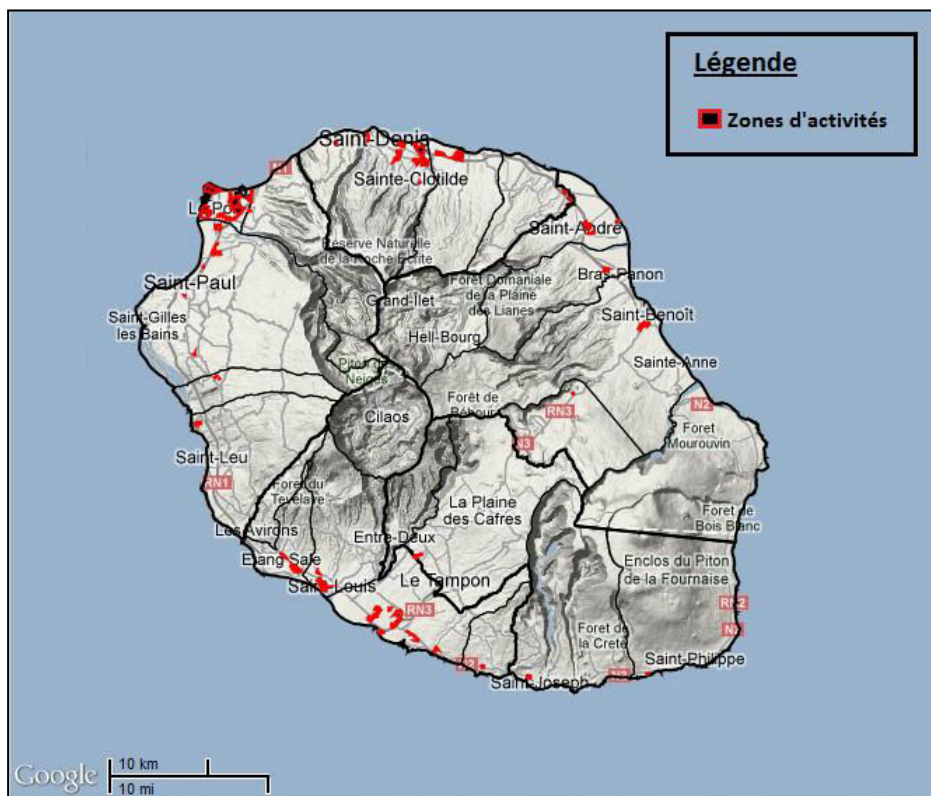
**Carte 2.1 : Localisation des zones d'autocorrélation positive High-High en 2008**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Ces zones constituent donc des pôles de regroupement de population. La définition d'un centre se fait généralement en fonction de la concentration de population mais également et surtout en fonction de la concentration d'emplois. Ainsi, si l'on s'intéresse au paramètre emploi, on remarque également une concentration des zones d'activités plus importante dans les trois secteurs précités (Carte 2.2).

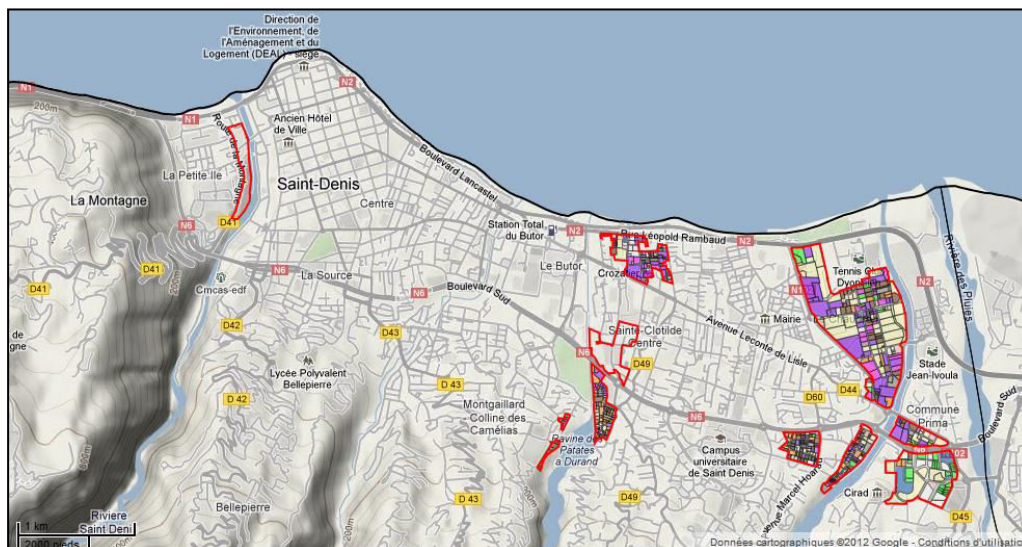
## Carte 2.2 : Localisation des zones d'activités dans l'Île



Source : Agorah, cartes interactives Google, données cartographiques 2012, [www.agorah.com](http://www.agorah.com)

En effet, les villes de Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre regroupent actuellement 32.8% des zones d'activités (source AGORAH, données 2012). Observons maintenant la localisation de ces zones d'activité sur le territoire même des communes (cf. Cartes 2.3, 2.4 et 2.5).

## Carte 2.3 : Localisation des zones d'activités sur le territoire de Saint-Denis



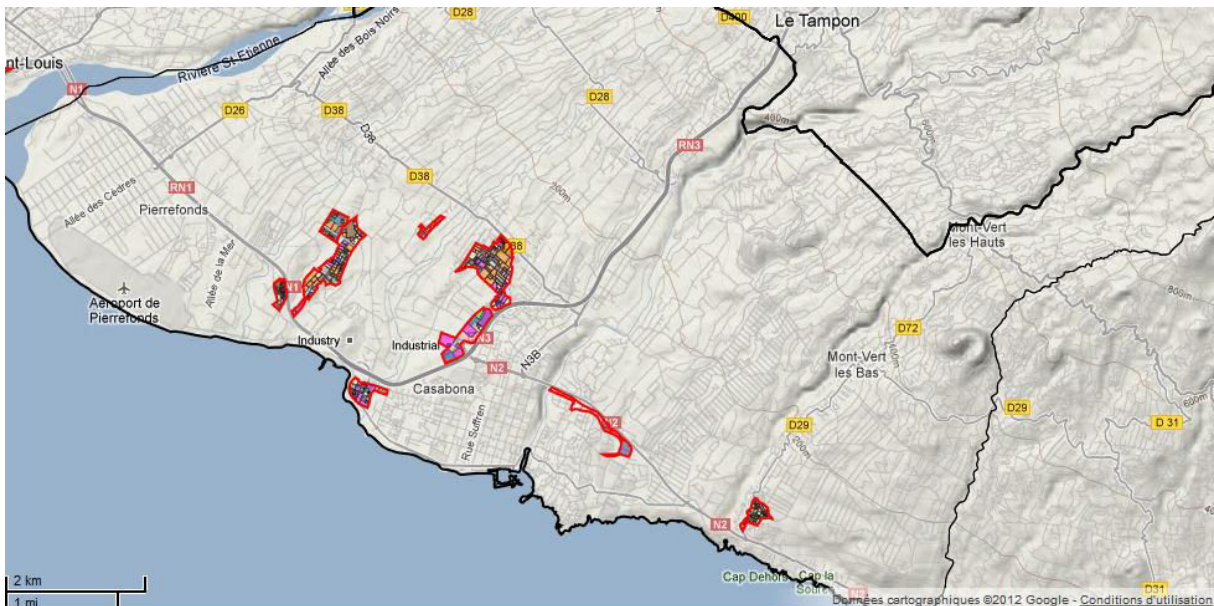
Source : Agorah, cartes interactives Google, données cartographiques 2012, légende en annexe 8, [www.agorah.com](http://www.agorah.com)

**Carte 2.4 : Localisation des zones d'activités sur le territoire du Port**



Source : Agorah, cartes interactives Google, données cartographiques 2012, légende en annexe 8, [www.agorah.com](http://www.agorah.com)

**Carte 2.5 : Localisation des zones d'activités sur le territoire de Saint-Pierre**



Source : Agorah, cartes interactives Google, données cartographiques 2012, légende en annexe 8, [www.agorah.com](http://www.agorah.com)

Pour la commune de Saint-Denis (cf. Carte 2.3), les zones d'activités se concentrent à l'Est de la commune dans la région du Chaudron, vers la limite avec la commune de Sainte-Marie alors que le centre ville historique est à l'Ouest. Dans la commune du Port (cf. Carte 2.4), on constate que les zones d'activités se concentrent en périphérie du territoire communal,



presque de manière concentrique autour des zones résidentielles. Cette organisation est inverse aux modèles d'économie urbaine où les emplois se regroupent dans un centre d'affaires appelé CBD et où la population se localise de manière concentrique autour de ce pôle d'emplois (modèles monocentriques). Le territoire de Saint-Pierre est très vaste comparé à celui du Port : Saint-Pierre affiche en effet une superficie de 97 km<sup>2</sup> contre 17 km<sup>2</sup> pour la commune du Port. Les zones d'activités se concentrent en deux zones principales qui se situent dans un rayon de 2 km (distance à vol d'oiseau).

Ainsi la localisation des zones d'activités et plus précisément la concentration de ces zones d'activités en trois points poussent à distinguer trois espaces différents pour notre étude : Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre. Pour aller plus loin dans notre analyse, intéressons nous à la variable emploi. En effet, si nous nous penchons plus précisément sur le nombre d'emplois, on constate, en exploitant la base de données Emploi au Lieu de Travail de l'INSEE, que les communes de Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre font partie des quatre premières communes de l'Île en termes d'emplois recensés au lieu de travail. Ces trois communes regroupent en effet 47.5% des emplois de l'Île :

**Tableau 2.2 : Classement des communes selon le nombre d'emplois en 2008**

	Communes	Emplois au lieu de travail en 2008	Part (en %)
1	Saint-Denis	61 650	26.2%
2	Saint Pierre	60 928	13.2%
3	Saint-Paul	26 740	11.4%
4	Le Port	19 224	8.2%
5	Le Tampon	14 484	6.2%
	<i>Reste des communes</i>	82 177	34.94%
	<b>TOTAL</b>	<b>235 202</b>	<b>100%</b>

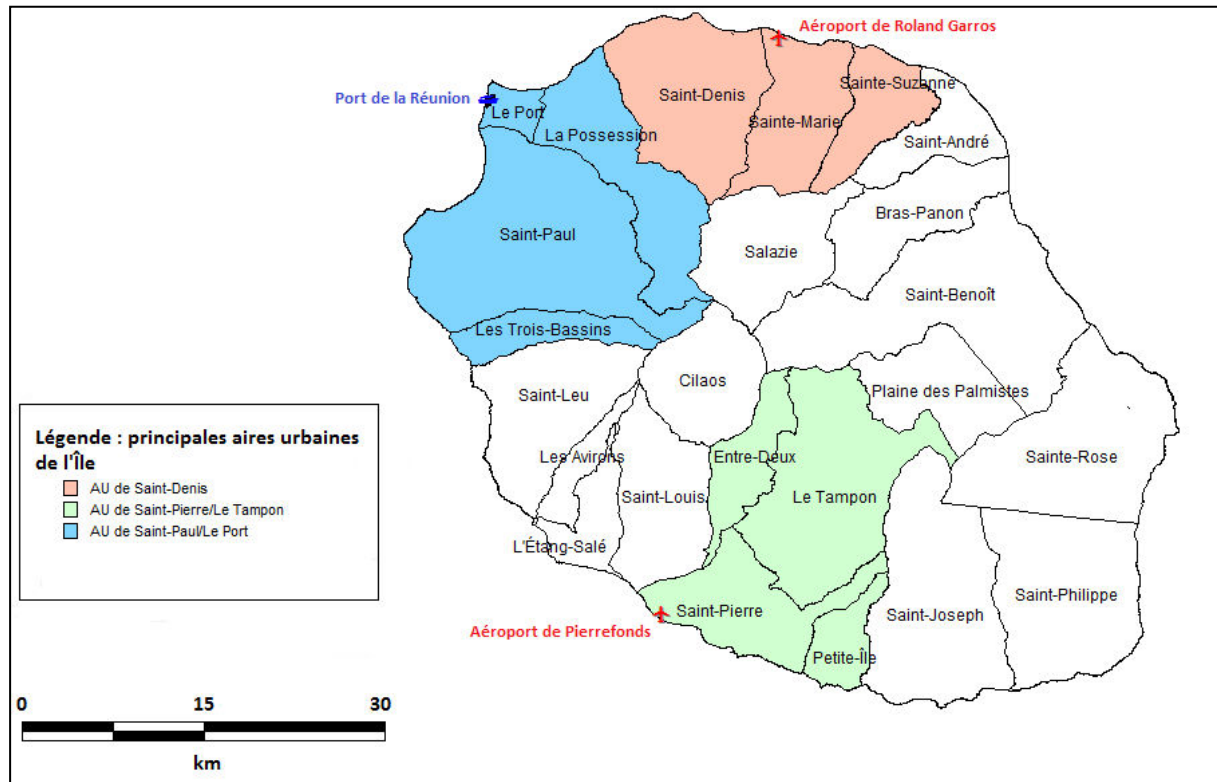
Source : données INSEE

Le tableau 2.2 permet de mettre en évidence une troisième commune polarisante en termes d'emplois : la commune de Saint-Paul. En effet, elle concentre 11,4% des emplois réunionnais ce qui la place en troisième position dans le classement. Elle constitue de ce fait un pôle de concentration qui doit être inclus dans notre analyse. La ville de Saint-Paul concentre en effet un nombre d'emplois importants grâce à 5 zones d'activité (soit autant en nombre que pour la commune du Port), un centre ville qui constitue le plus grand pôle d'emplois de l'Ouest et une zone littorale qui constitue la zone touristique la plus fréquentée de l'île (INSEE, 2010). Vu la proximité géographique, la prise en compte de la commune de Saint-Paul se fait par agrégation avec la commune du Port. D'ailleurs, dans le zonage des aires urbaines de la Réunion, l'INSEE définit trois principales aires urbaines (2011) :

- L'Aire Urbaine de Saint-Denis, composée des communes de Saint-Denis, Sainte Marie et Sainte Suzanne,

- L'Aire Urbaine de Saint-Paul-Le Port, composée de quatre communes : Saint-Paul, Le Port, La Possession et Trois Bassins,
- L'Aire Urbaine de Saint-Pierre composée également de quatre communes : Saint-Pierre, Le Tampon, La Petite Ile et l'Entre-Deux.

**Carte 2.6 : Localisation des trois principales Aires Urbaines de l'Île**



Source : données INSEE, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

On remarque à l'observation de la carte que chacune des principales aires urbaines possède un des trois points d'échange vers l'extérieur : l'aéroport principal de Roland Garros situé dans l'Aire Urbaine de Saint-Denis, l'aéroport secondaire de Pierrefonds situé dans l'aire urbaine de Saint-Pierre et enfin la zone portuaire de la Réunion située dans l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port.

L'aire urbaine de Saint-Denis, d'une superficie de 288.8 km<sup>2</sup> est constituée d'un pôle urbain regroupant les communes de Saint-Denis et Sainte-Marie et d'une couronne périurbaine, à savoir Sainte Suzanne. En 2008, elle regroupe en son sein 75 525 emplois pour 64 663 actifs occupés dont 70% travaillent dans leur commune de résidence.

L'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, d'une superficie de 419.2 km<sup>2</sup> est constituée d'un pôle urbain regroupant les communes de Saint-Paul, Le Port et également La Possession et d'une couronne périurbaine, à savoir la commune de Trois Bassins. En 2008, cette aire urbaine regroupe en son sein 53 121 emplois pour 53 181 actifs occupés dont 56% travaillent dans leur commune de résidence.

Enfin, l'aire urbaine de Saint-Pierre est composée d'un pôle urbain regroupant trois communes : Saint-Pierre, Le Tampon et l'Entre-Deux, et d'une couronne périurbaine à travers la Petite Ile. Sur un territoire de 363.71 km<sup>2</sup>, elle regroupe 48 371 emplois en 2008 pour 46 107 actifs occupés dont 63% travaillent dans leur commune de résidence.

### III.1.2 Bases de données

Nous cherchons à comprendre la répartition de la population sur le territoire, à l'échelle des aires urbaines. Nous nous appuyons sur le modèle d'analyse développé par Bussière (cf. éq. 2.8 et 2.10) afin d'estimer la population cumulée en fonction de la distance au centre. Les données de population proviennent de la base de données IRIS de l'INSEE présentée dans le chapitre précédent. Sur un total de 344 IRIS comptabilisés à la Réunion, nous considérons les IRIS des aires urbaines étudiées : Saint-Denis, Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre. Ils contiennent respectivement 87, 76 et 58 IRIS (Tableau 2.3).

**Tableau 2.3 : Comptabilisation des IRIS**

	Nombre d'IRIS	Nombre d'IRIS Divers
<b>Saint-Denis</b>	87	10
<b>Saint-Paul-Le Port</b>	76	13
<b>Saint-Pierre</b>	64	5

Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Vu le nombre importants d'IRIS Divers (particulièrement dans les aires urbaines de Saint-Denis et Saint-Paul-Le Port), et étant donné les caractéristiques de ce type d'IRIS, ceux-ci sont exclus de l'analyse. Ainsi, on ne considèrera que 77 IRIS à Saint-Denis, 63 pour Saint-Paul-Le Port et 59 pour Saint-Pierre.

### III.1.1 Identification des centres

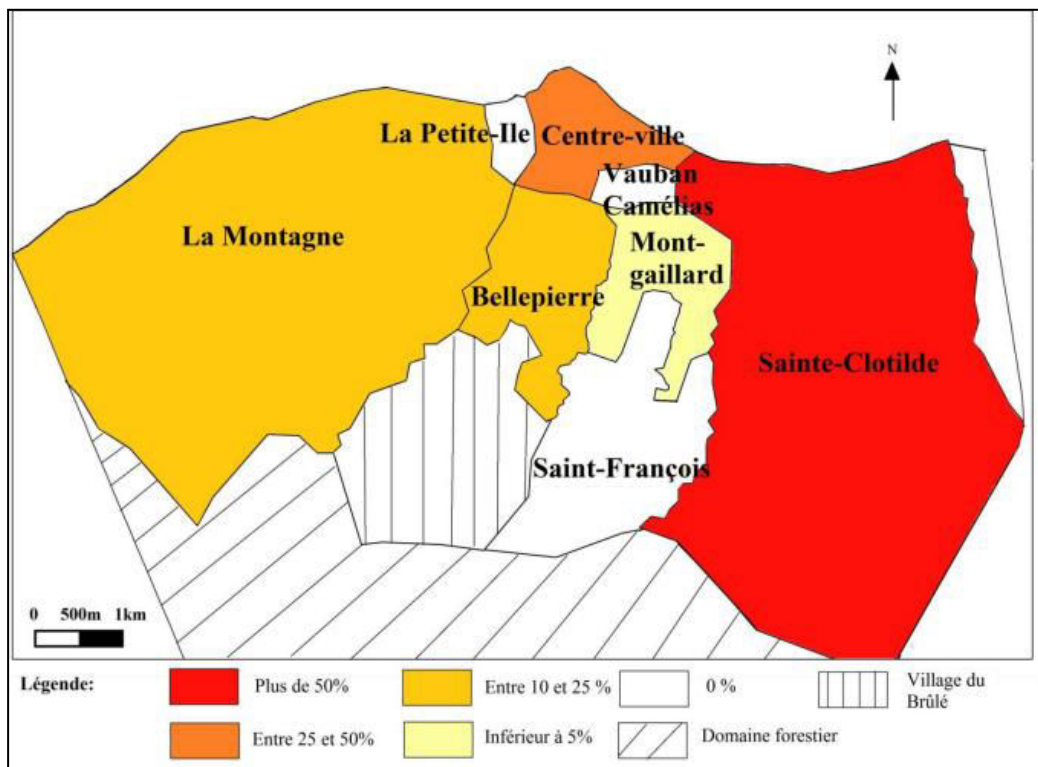
La détermination des centres des aires urbaines est importante mais également complexe. En effet, comment définir le centre ? Qu'est-ce qu'un centre ?

Tabourin définit en 1995 trois possibilités de localisation du centre. La première est basée sur l'histoire. En effet, le centre historique est une possibilité : il est repéré par sa matérialité, c'est-à-dire ses bâtiments (mairie, préfecture, etc.), ses voiries et espaces publics. La deuxième possibilité de définition du centre est le centre vécu. Le centre vécu se repère à l'intensité des activités qu'il contient (un indicateur de cette intensité pouvant être le nombre d'emplois). C'est là la définition qui est le plus souvent utilisée. Enfin, la troisième possibilité est le centre calculé. Tabourin définit ce centre comme le barycentre d'une quantité donnée (de population

ou d'emplois par exemple) (1995). Ce centre calculé peut également être défini à partir d'un classement des zones en fonction de leur taille ou densité (population, emplois).

Dans le cadre de cette thèse, c'est le centre calculé qui a attiré notre attention. Etant donné le choix de l'échelle d'étude (les IRIS), la donnée emploi est non disponible et c'est donc à partir de la densité de population que nous avons défini nos centres. C'est ainsi, pour chaque aire urbaine, l'IRIS le plus dense qui a été choisi en tant que centre. L'hypothèse du centre historique a été également testée mais les résultats obtenus étaient peu crédibles. Par exemple, le centre historique de Saint-Denis (l'IRIS comprenant la préfecture et la mairie) se trouve à l'ouest du centre choisi. Or le centre choisi sur un critère de densité de population semble correspondre à la réalité : en effet, les principales zones d'activité de l'aire urbaine se concentrent dans la zone du chaudron (cf. Carte 2.3). De plus, une enquête téléphonique réalisée auprès d'un échantillon de 200 ménages de l'aire urbaine de Saint-Denis au mois d'avril 2012 concernant leurs déplacements quotidiens, a pu mettre en évidence l'attractivité de la commune de Saint-Denis. En effet, 83% des déplacements domicile-travail recensés sur l'aire urbaine ont pour destination la commune de Saint-Denis. Une analyse plus fine au niveau des quartiers de la commune de Saint-Denis a permis de mettre en exergue la forte attractivité de la zone de Sainte-Clotilde (Carte 2.7) qui comprend le quartier du Chaudron, et donc l'IRIS centre choisi dans notre présente étude.

**Carte 2.7 : Attractivité des quartiers de la commune de Saint-Denis**



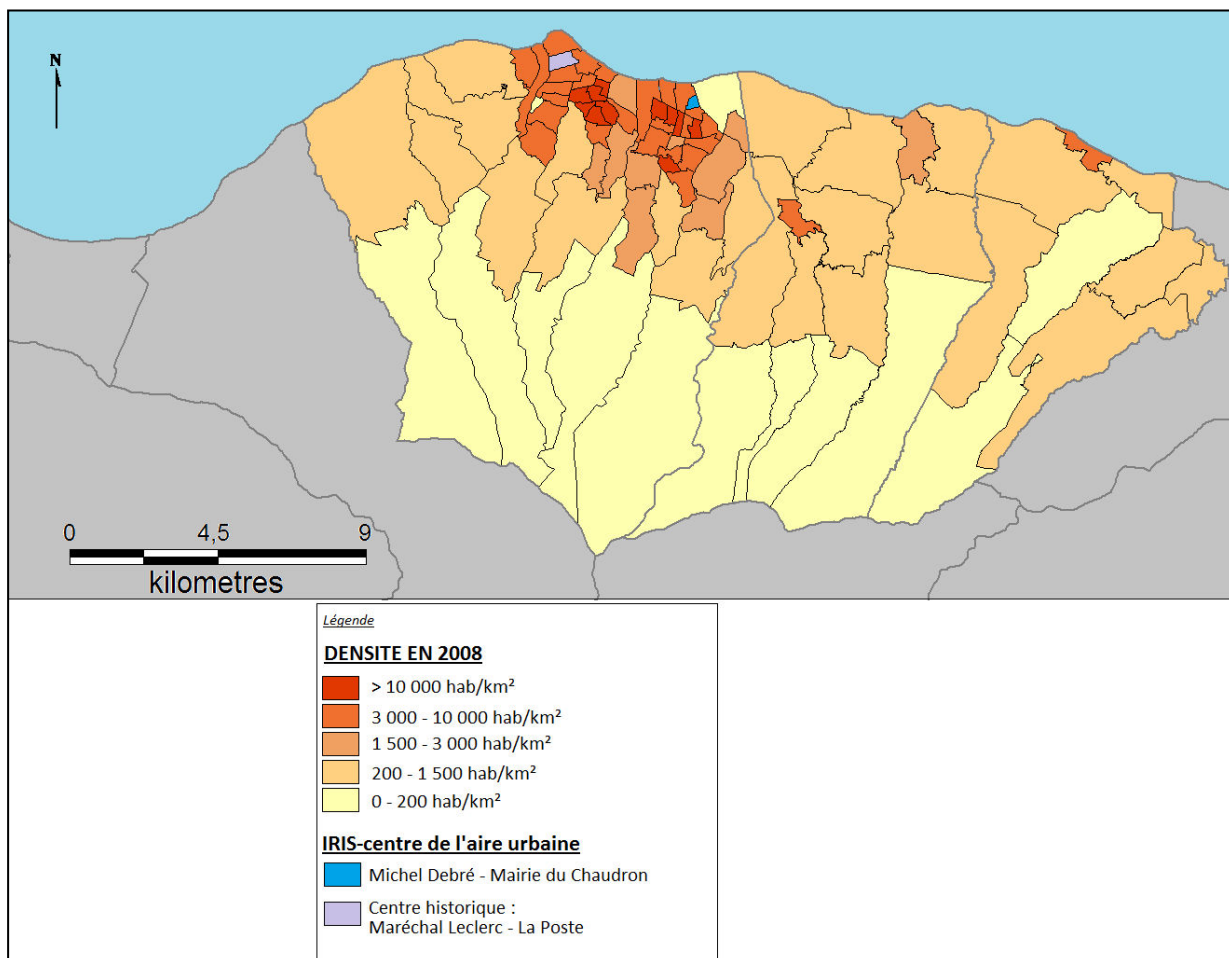
Conception : F. Bénard 2012, Réalisation : E. Grondin, Stage de Licence 3 Génie Urbain et Environnement réalisé sous la direction de F. Bénard, 2012

Ainsi, concernant l'aire urbaine de Saint-Denis, l'IRIS le plus dense se situe dans le quartier du Chaudron (Carte 2.8 Carte 2.). D'une superficie de 0.12 km<sup>2</sup>, l'IRIS centre dénommé



Michel Debré-Mairie du Chaudron affiche une densité de 18 406 hab./km<sup>2</sup> en 2008. Situé à l'est du centre ville, l'IRIS centre comprend donc la mairie du Chaudron et se localise ainsi à proximité du pôle de concentration des zones d'activité (cf. Carte 2.3).

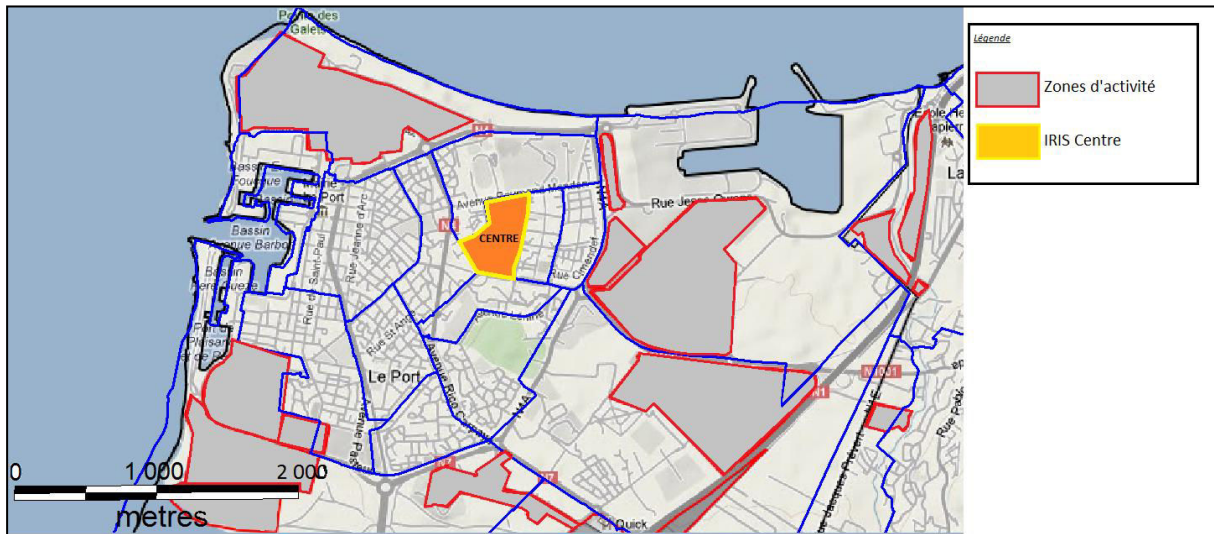
**Carte 2.8 : Répartition des densités de population en 2008 et localisation du centre Michel Debré – Mairie du Chaudron et du centre historique sur le territoire de l'aire urbaine de Saint-Denis**



Source : données INSEE, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

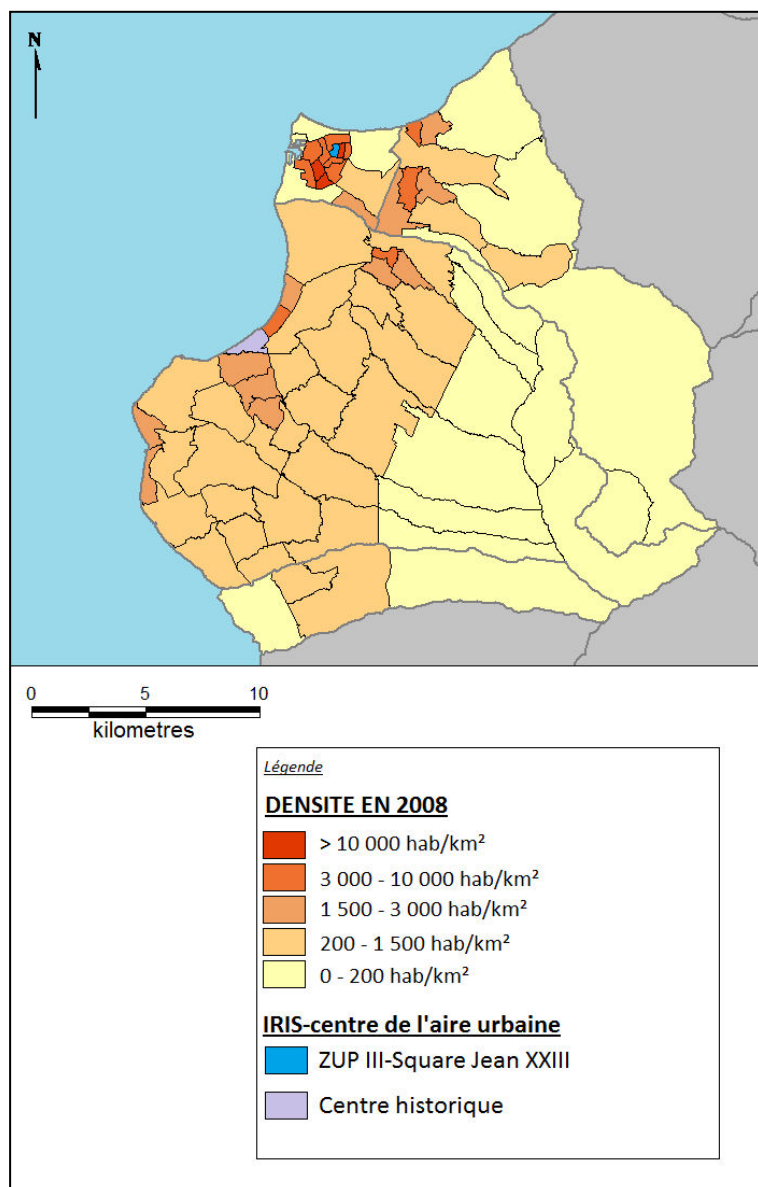
Concernant l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, l'IRIS le plus dense se situe dans la ville du Port, à proximité également des zones d'activité (Carte 2.9). Dénommé ZUP III-Square Jean XXIII, l'IRIS centre de Saint-Paul affiche une densité de 12 575 km<sup>2</sup> pour une superficie de 0.18 km<sup>2</sup>. La carte 10 ci-dessous permet de donner un aperçu de la répartition des densités sur le territoire de Saint-Paul-Le Port.

Carte 2.9 : Localisation du centre de l'Aire Urbaine de Saint-Paul



Source : Agorah, cartes interactives Google, données cartographiques 2012, [www.agorah.com](http://www.agorah.com)

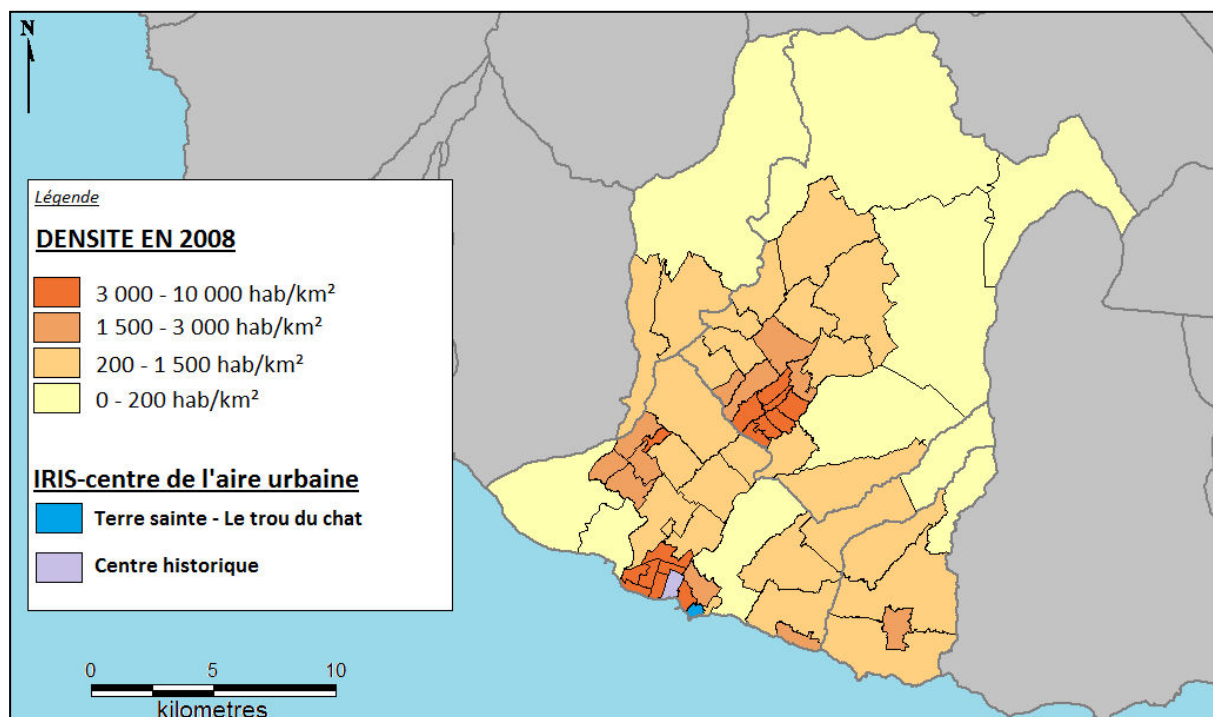
**Carte 2.10 : Répartition des densités de population et localisation du centre sur le territoire de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



Source : données INSEE, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Enfin, l'aire urbaine de Saint-Pierre, localisée dans le Sud de l'Île, possède un centre moins dense que pour Saint-Denis et Saint-Paul-Le Port (seulement 7029 km<sup>2</sup>). Situé dans la ville de Saint-Pierre et dénommé Terre Sainte-Le trou du chat, l'IRIS centre affiche une superficie de 0.32 km<sup>2</sup>. Situé en bord de mer, l'IRIS se situe complètement à l'Est de la concentration de zones d'activités mais est contigu à l'IRIS activité comprenant le Groupe Hospitalier du Sud de l'Île (Carte 2.11).

**Carte 2.11 : Localisation du centre de l'aire urbaine de Saint-Pierre et répartition des densités**



Source : données INSEE, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

## III.2 Indices de concentration

Le chapitre 1 a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments concernant l'organisation hiérarchique de l'île. En effet, l'île de la Réunion se caractérise par une domination hiérarchique du littoral Nord-Ouest à Sud-ouest avec trois principaux pôles d'influence : Saint-Denis, capitale de l'Île, Le Port et Saint-Pierre. Ces résultats permettent donc de mettre en exergue trois pôles mais ne renseignent pas sur l'organisation de ces pôles. Cette partie s'attache donc à combler ce manque par une analyse des formes d'étalement qui s'organise en deux points : tout d'abord, nous proposons de calculer un indice d'étalement afin de donner un aperçu global et comparatif de nos aires urbaines. Ensuite, nous proposons une analyse de la répartition de la population dans la tradition monocentrique avec une application du modèle de Bussière à chacune de nos aires urbaines étudiées.

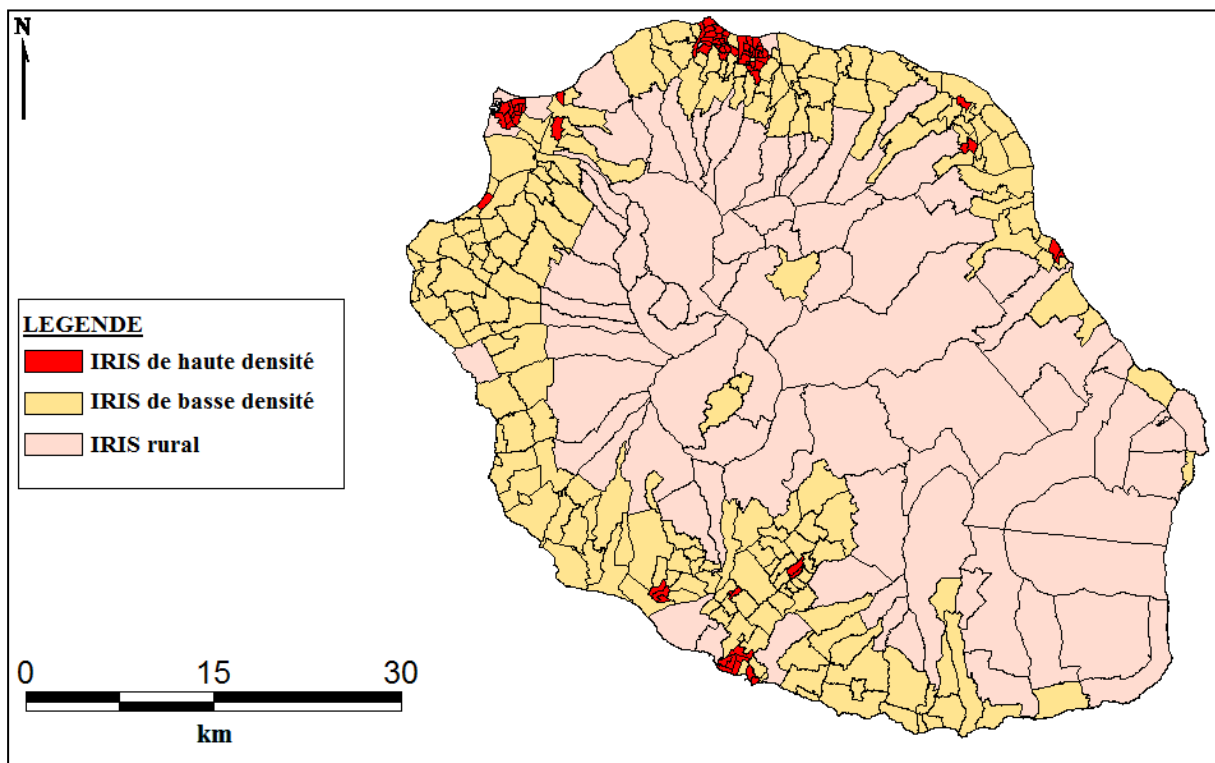
Nous proposons d'utiliser l'indice d'étalement formalisé par Lopez et Hynes (2003) (cf. Equation 2.17) avec, dans un premier temps une application stricte des seuils entre rural et urbain et faible et forte densité, puis, dans un second temps, nous proposons d'appliquer des seuils spécifiques.

### III.2.1 Indice d'étalement de Lopez et Hynes

L'indice d'étalement de Lopez et Hynes (2003) est relativement simple à mettre en place. A partir des données de densité disponibles par quartier IRIS, nous avons donc comptabilisés le nombre d'IRIS ruraux, le nombre d'IRIS de faible densité et le nombre d'IRIS de forte densité en utilisant les seuils prédéfinis par Lopez et Hynes, soit 200 hab./km<sup>2</sup> au minimum pour les IRIS de Faible densité et 3 500 hab./km<sup>2</sup> au minimum pour les IRIS de haute densité. Une analyse à l'échelle globale de la Réunion permet de constater un nombre important d'IRIS ruraux, qui se regroupent au centre de l'Île, ainsi que dans la partie Sud-est (Carte 2.12). Le relief difficile et le climat particulier de ces zones rendent en effet ces zones peu attractives et difficiles d'accès pour certaines. Les IRIS de faibles densités se concentrent sur une bande littorale allant du Sud au Nord-est en passant par l'Est. La zone littorale en aval du Piton de la Fournaise (au Sud-est) n'est pas urbanisée, en raison des éruptions fréquentes du volcan encore en activité qui produit des coulées qui atteignent fréquemment la mer. Les IRIS qualifiés de haute densité se concentrent principalement dans les pôles de Saint-Denis, le Port et Saint-Pierre. D'autres IRIS de haute densité sont identifiés dans les régions de Saint-André et Saint-Benoît à l'Est, dans la région Ouest à Saint-Paul et La Possession, soit dans les communes sous l'influence du Port, et dans la région Sud au Tampon, sous l'influence de Saint Pierre, et à Saint-Louis. Les communes de Saint-André, Saint-Benoît et Saint-Louis ne sont sous l'influence d'aucune de nos trois aires urbaines identifiées. Elles réussissent en effet à « résister » à leur influence en produisant assez d'emplois pour capter leur population active résidente. En effet, on recense en 2008 11 449 emplois au lieu de travail à Saint-André, 8 747 à Saint-Benoît et 11 339 à Saint-Louis (chiffres INSEE).

Le calcul de l'indice d'étalement de Lopez et Hynes donne des résultats intéressants : nous obtenons un indice qui varie de 70.20 en 1990 à 68.03 en 2008. L'indice se trouve dans la tranche [50 ; 100] ce qui traduit un espace soumis à un étalement important. Néanmoins, on constate une petite baisse de l'indice (moins 2 points) en 18 ans ce qui pourrait indiquer une baisse de vitesse (qui reste tout de même très faible) du phénomène d'étalement. En effet, les années 1990 et 2008 sont marquées par une volonté politique de limiter l'étalement urbain et le Schéma d'Aménagement Régional (S.A.R.) de 1995 a donné le ton en exprimant une volonté d'aménagement plus équilibré sur l'ensemble du territoire avec la mise en place d'une obligation de densification des agglomérations existantes et de structuration des bourgs ruraux.

**Carte 2.12 : Répartition des IRIS selon leur densité**



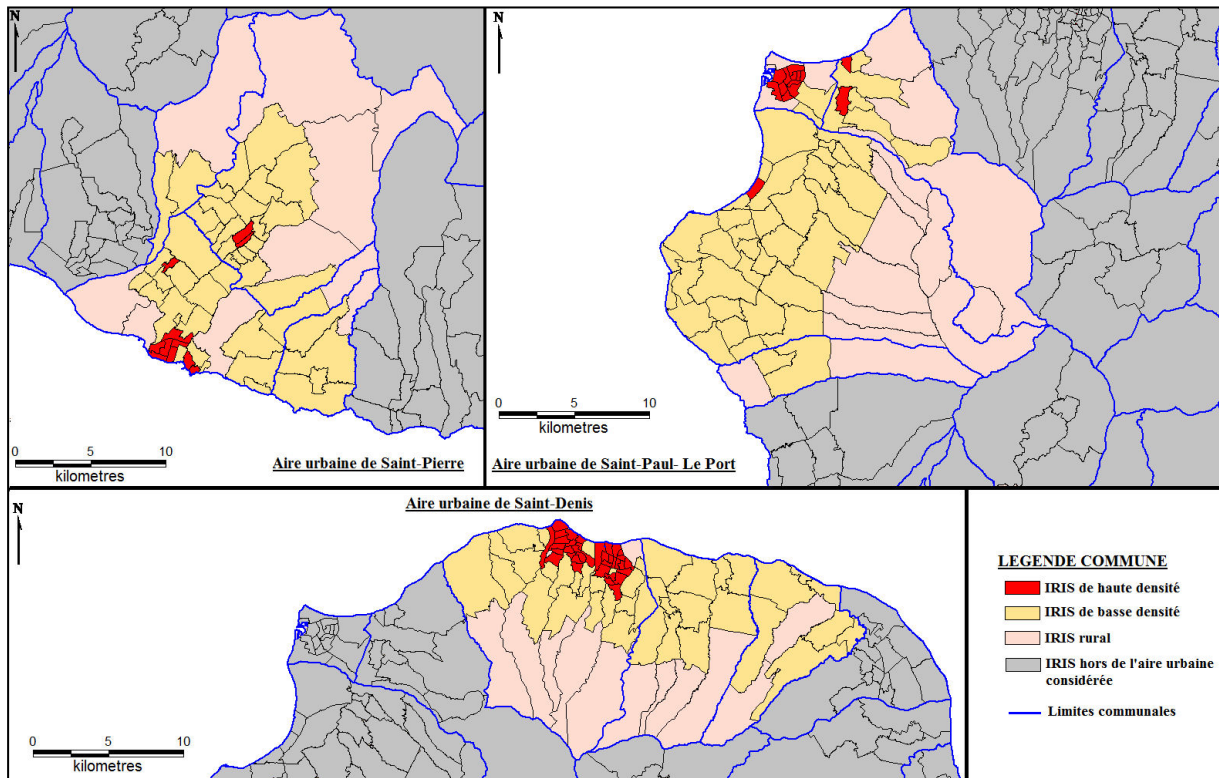
Source : données INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Une analyse par aire urbaine de l'indice d'étalement permet de mettre en évidence des différences entre Saint-Denis et les deux autres aires urbaines. En effet, l'aire urbaine de Saint-Denis se montre a priori plus équilibrée que Saint-Pierre et Le Port. Ainsi, on constate un indice d'étalement qui évolue de 58.44 en 1990 à 51.30 en 2008, ce qui traduit une petite tendance à l'étalement qui s'est plus ou moins corrigée entre 1990 et 2008. Concernant l'aire urbaine du Port, nous avons un indice qui varie de 78.57 en 1990 à 73.81 en 2008, ce qui est assez proche des valeurs de l'indice pour toute l'île (pour rappel 70.20 en 1990 et 68.03 en 2008). L'aire urbaine du Port comprend en effet la commune de Saint-Paul qui s'étend sur une grande superficie (241 km<sup>2</sup>) et offre des opportunités d'étalement importantes.

Enfin, les résultats de l'indice d'étalement pour l'aire urbaine de Saint-Pierre sont très élevés. En effet, nous obtenons un indice qui varie de 82.20 en 1990 à 77.12 en 2008. Comme pour Saint-Denis et Le Port, une perte de vitesse du phénomène d'étalement est constatée mais l'aire urbaine de Saint-Pierre reste la plus étalée de nos trois aires urbaines. En effet, on constate un faible nombre d'IRIS de haute densité dans l'aire urbaine de Saint-Pierre (Carte 2.13).



**Carte 2.13 : Répartition des IRIS selon leur densité en 2008, par aire urbaine**



Source : données INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

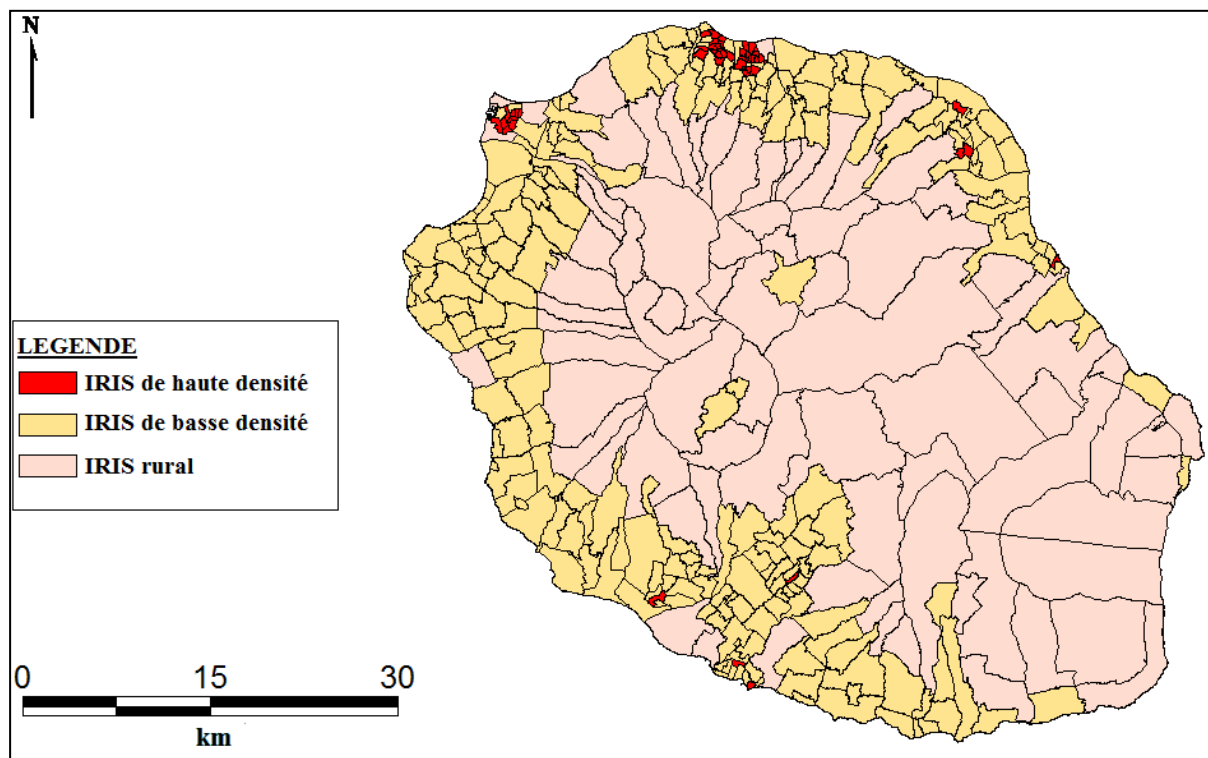
### III.2.2 Discussion

Déjà lors de l'élaboration de leur indice en 2003, Lopez et Hynes soulignaient le problème du seuil de densité choisi pour délimiter espace urbain fortement dense et espace urbain faiblement dense. Ce questionnement quant au seuil est d'autant plus important que nous nous situons dans notre analyse, dans le cadre d'une île tropicale française, soumise à de nombreuses contraintes géo-climatiques et dont les problématiques d'urbanisation sont donc potentiellement différentes des problématiques américaines. Ainsi, nous pouvons considérer que les seuils appliqués aux Etats-Unis sont peu adaptés à l'Île de la Réunion et proposons ainsi de reproduire les calculs en appliquant un nouveau seuil entre espace fortement dense et espace faiblement dense.

Nous proposons donc de considérer que 15% de la population réunionnaise habite dans un espace fortement dense. Cela revient à considérer comme seuil : 5 200 hab.km<sup>2</sup>. En reproduisant les calculs avec ce nouveau seuil, nous constatons quelques différences par rapport aux résultats précédents et qui semblent plus conformes à la réalité. Les calculs pour une approche globale de l'Île produisent un indice d'étalement qui varie entre 75.15 en 1990 à 74.71 en 2008, ce qui est quelque peu supérieur aux résultats précédents : une différence de 5 à 6 points est en effet observée. L'interprétation des résultats reste néanmoins la même : l'Île

de la Réunion est soumise à un étalement important, bien qu'une petite perte de vitesse à été sentie entre 1990 et 2008.

**Carte 2.14 : Répartition des IRIS selon leur densité en considérant le nouveau seuil d'identification des IRIS fortement dense > 5 200 hab/km<sup>2</sup>**



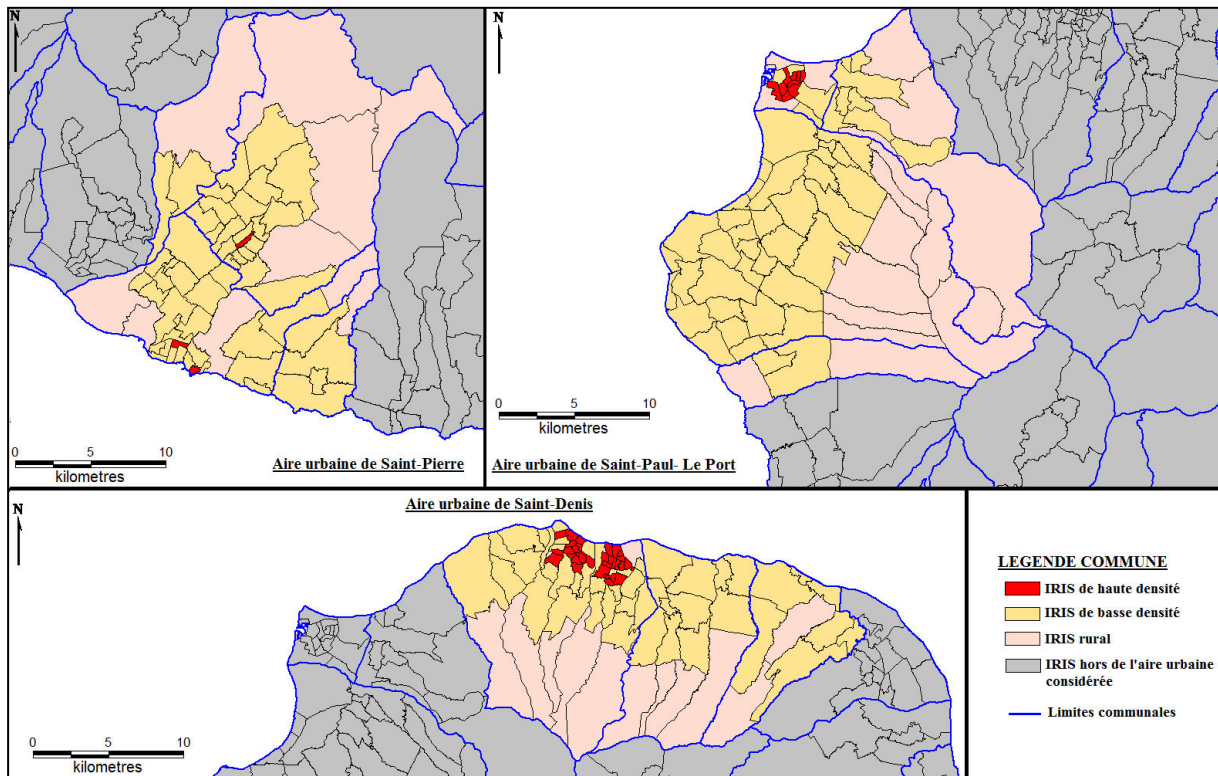
Source : données INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Concernant les aires urbaines de Saint-Denis, Saint-Pierre et Le Port, on constate également quelques différences. En effet, avec ce nouveau seuil, l'aire urbaine de Saint-Denis semble moins équilibrée, en effet on constate un nombre plus important d'IRIS de faible densité et on obtient ainsi un indice qui varie de 66.23 en 1990 à 60.39 en 2008. Concernant l'aire urbaine du Port, l'étalement important constaté avec le précédent seuil est confirmé avec un indice de 81.75 sur toute la période (de 1990 à 2008) ce qui traduit par contre, un phénomène d'étalement qui s'installe « durablement » alors que le seuil précédent mettait en évidence une perte de vitesse. Enfin, concernant l'aire urbaine de Saint-Pierre, l'indice permet de clairement mettre en évidence la question de l'étalement : le second seuil produit une variation de l'indice de 88.98 en 1990 à 90.68 en 2008. Ainsi, à Saint-Pierre, les deux seuils permettent de mettre en évidence un étalement urbain important.

Ainsi, l'indice augmente entre 1990 et 2008, ce qui traduit un étalement urbain qui s'intensifie, alors que le seuil précédent mettait en avant un étalement urbain atténué dans le temps. La comparaison des cartes 2.13 et 2.14 permet ainsi de voir que le nouveau seuil entraîne la diminution du nombre d'IRIS de haute densité (seulement 3 dans le cas du nouveau seuil).



**Carte 2.15 : Répartition des IRIS selon leur densité en 2008, par aire urbaine (Nouveau seuil)**



Source : données INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Choisir entre les deux seuils à ce stade de l'analyse serait arbitraire. Nous proposons ainsi de continuer notre analyse avec l'application du modèle de Bussière sur nos trois aires urbaines afin d'effectuer notre choix.

### **III.3 La forme monocentrique est-elle adaptée aux aires urbaines réunionnaises ?**

La première partie de ce chapitre a donné les bases de la relation entre la distance et la répartition de la population (à travers les indicateurs de densité ou de population cumulée). Les premiers modèles développés sont les modèles monocentriques dès les années 1950, les modèles polycentriques ont fait leur apparition plus tard dans la littérature pour pallier aux carences du modèle monocentrique. En effet, le modèle monocentrique est insuffisant à décrire la réalité urbaine (Baumont et Le Gallo, 1999). Il doit ainsi être considéré en parallèle aux autres formes possibles, à savoir les formes multicentriques.

Cette partie se pose ainsi la question de la pertinence du modèle monocentrique pour l'étude des aires urbaines réunionnaises. Ainsi, nous proposons une application du modèle de Bussière (équation 2.6 et équation 2.8) sur nos trois aires urbaines pour vérifier l'hypothèse

d'une configuration monocentrique. La méthode consiste à procéder par itération pour faire apparaître les valeurs de  $A$ ,  $b$  (et  $K$  dans le cas du modèle amendé) qui minimisent la somme des carrés des résidus entre la courbe empirique et la courbe théorique. Le modèle intègre un paramètre distance que nous allons considérer plutôt en termes d'accessibilité. En effet, l'accessibilité au centre, soit le temps de parcours du réseau routier a été calculé comme le temps minimal de parcours de centroïde<sup>10</sup> à centroïde selon la méthode des plus courts chemins utilisée par GoogleMaps (cf. Chapitre 3).

Nous observons alors une différence selon l'aire urbaine observée : alors que l'aire urbaine de Saint-Denis semble cadrer parfaitement à une configuration urbaine radioconcentrique autour d'un seul centre, l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port tend plutôt vers un étalement linéaire à partir d'un centre unique, tandis que l'aire urbaine de Saint-Pierre présente des caractéristiques qui conduisent à éliminer l'approche monocentrique.

### III.3.1 Saint-Denis : un espace radioconcentrique

L'application du modèle de Bussière fournit des résultats satisfaisants dans le cas de Saint-Denis. En effet, avec un coefficient de détermination de 0.99 sur les trois années étudiées, le modèle peut être validé (cf. Tableau 2.4). L'application de l'amendement au modèle initial n'apporte aucune amélioration et l'on obtient un  $K = 0$ , les valeurs de  $A$  et  $b$  restant égales aux valeurs prises dans le modèle non amendé.

**Tableau 2.4 : Valeur optimales des paramètres du modèle de Bussière pour chaque aire urbaine, en considérant des temps en minutes**

	Saint-Denis			Saint-Pierre			Saint-Paul-Le Port		
	1990	1999	2008	1990	1999	2008	1990	1999	2008
<b>A</b>	616.87	621.04	650.01	167.33	183.57	192.41	144.22	167.68	176.68
<b>b</b>	0.1550	0.1460	0.1408	0.0811	0.0752	0.0699	0.0758	0.0737	0.0694
<b>R2</b>	0.994	0.993	0.991	0.981	0.981	0.977	0.973	0.982	0.986

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

A l'observation du tableau 2.4, deux remarques peuvent être faites concernant le gradient de densité  $b$  :

- La première remarque vient de la comparaison des gradients de densité de l'aire urbaine de Saint-Denis, de Saint-Pierre et de Saint-Paul-Le Port. En effet, on remarque pour Saint-Denis un gradient plus élevé (bien qu'il reste tout de même proche de 0)

<sup>10</sup> Un centroïde correspond au point dont les coordonnées se trouvent à distance moyenne des coordonnées de tous les points d'une surface.

que pour ses deux autres compères. Cela signifie donc que le phénomène d'étalement est moins marqué à Saint-Denis qu'à Saint-Pierre et Saint-Paul-le Port.

- La deuxième remarque concerne la valeur du gradient de densité : il passe de 0.155 en 1990 à 0.1408 en 2008. Il est proche de 0 ce qui signifie que l'aire urbaine est étalée et de plus le gradient décroît au fil des ans ce qui signifie que le phénomène d'étalement s'accroît.

Si on considère maintenant les valeurs prises par  $A$ ,  $A$  désigne dans le modèle la densité centrale. La densité peut se définir comme suit : il s'agit du rapport entre une quantité et une surface. L'unité de surface est généralement une donnée métrique. Dans notre cas, nous avons transposé la notion de distance à une notion de temps. Ainsi, l'unité de la valeur de  $x$  dans le modèle est la minute. Il nous faut donc pour pouvoir interpréter la valeur de  $A$ , considérer des surfaces avec des données minutes. En considérant ainsi des cercles concentriques autour du centre avec des rayons en minutes, nous pouvons aisément calculer la densité centrale, puis à une minute du centre, puis à deux minutes, etc. Ainsi, pour Saint-Denis, nous obtenons les valeurs suivantes :

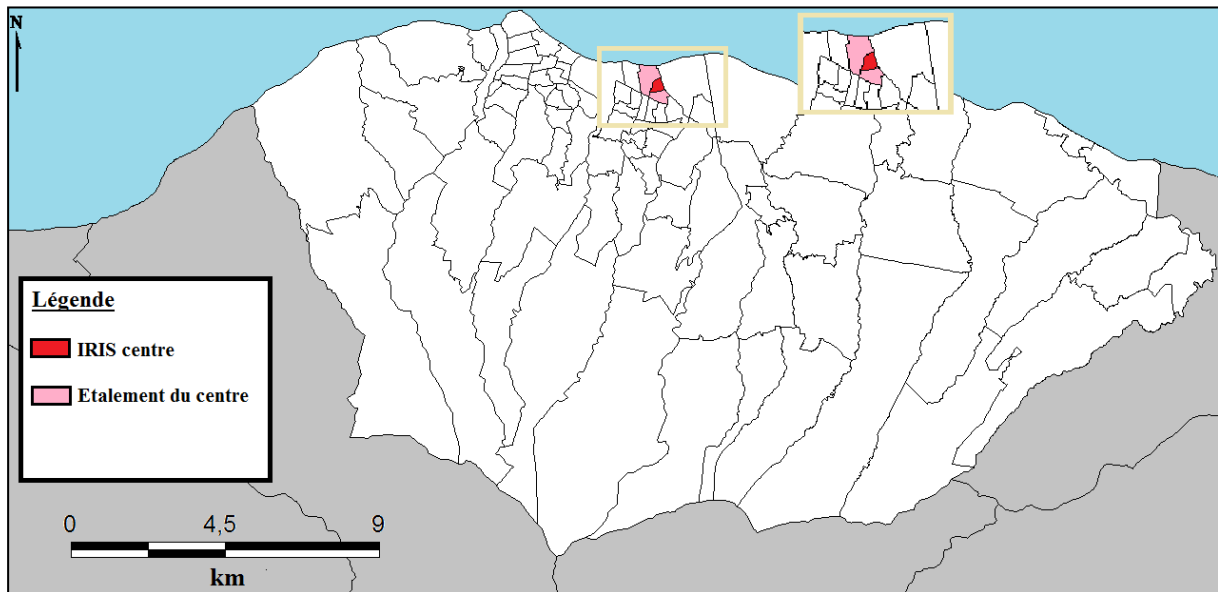
**Tableau 2.5 : Résultats du calcul des densités avec unité de surface en minutes**

	Valeurs prises dans le modèle de Bussière	Valeurs à 2 minutes	Valeurs à 3 minutes	Valeurs à 4 minutes	Valeurs à 5 minutes
<b>1990</b>	616.87	563.33	411.29	372.76	335.97
<b>1999</b>	521.04	488.45	379.21	341.79	317.39
<b>2008</b>	650.01	423.44	371.54	316.75	313.56

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Nous pouvons donc voir dans le tableau 2.5 que l'ordre de grandeur de la densité centrale correspond mieux aux valeurs prises à 2 minutes. La valeur du paramètre  $A$  du modèle peut alors être interprétée comme la densité dans un rayon de 2 minutes autour de l'IRIS désigné comme centre. Ainsi, nous pouvons introduire ici la notion d'étalement du centre. En effet, le centre n'est finalement pas composé d'un seul IRIS (IRIS le plus dense désigné en amont de l'étude) mais il est ici composé de 3 IRIS. Nous avons donc pour Saint-Denis, un centre composé de 3 IRIS et qui s'étend dans un rayon de 2 minutes autour du point initial. La carte ci après permet de donner un aperçu visuel de l'étalement de ce centre.

**Carte 2.16 : Etalement du centre de Saint-Denis**



Source : données INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Comme indiqué plus haut, l'application du modèle amendé de Bussière à l'aire urbaine de Saint-Denis, n'apporte aucune amélioration au modèle original ( $K = 0$ ). En théorie, le modèle de Bussière admet une asymptote horizontale qui indique qu'au-delà d'une certaine distance, il n'y a plus de population additionnelle, tandis que le modèle amendé admet plutôt une asymptote oblique. L'interprétation théorique est qu'au-delà d'une certaine distance, aucune population additionnelle ne serait possible pour l'aire urbaine de Saint-Denis. Dans la réalité, on constate que le facteur géographique impose effectivement un développement limité de l'aire urbaine. En effet, Saint-Denis est borné d'un côté par la mer, de l'autre par la montagne. De plus, du côté ouest elle est séparée du reste de l'île par la route du littoral. Cette route, au cœur de nombreuses problématiques économiques réunionnaises, creuse un rempart entre Saint Denis et La Possession (première commune à la sortie de la route du littoral), ce qui a permis à l'aire urbaine de Saint-Paul/Le Port de se développer<sup>11</sup> et de limiter ainsi le développement de l'aire urbaine de Saint-Denis à l'Ouest. Du côté Est, l'aire urbaine a un peu plus d'espaces et peut ainsi progresser jusqu'à Sainte-Suzanne mais, plus loin, la commune de Saint-André fait également rempart. En effet, avec ses 11 449 emplois, Saint-André est la sixième commune de l'île en termes de nombre d'emplois, derrière Saint-Denis, Saint-Pierre, Saint-Paul, Le Port et le Tampon (soit les principales communes des trois principales aires urbaines). Elle constitue de fait une limite au développement spatial de l'aire urbaine de Saint-Denis.

En conclusion, l'aire urbaine de Saint-Denis arbore une forme fonctionnelle monocentrique que le modèle de Bussière décrit assez bien avec des coefficients de détermination élevés ( $R^2=0.99$ ). On constate que l'aire urbaine a une tendance à l'étalement qui se confirme dans

<sup>11</sup> D'autres facteurs non énoncés ici entrent évidemment en jeu également.

le temps mais qui reste tout de même limitée par des facteurs physiques mais également économiques (développement de Saint-André).

### III.3.2 Saint-Paul-Le Port : un étalement linéaire dépendant des axes de transport

L'étude sur l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port donne des résultats assez mitigés. En effet, alors que le cas de Saint-Denis fait clairement apparaître que le modèle le plus adapté est le modèle de Bussière non amendé, le cas de Saint-Paul-Le Port apporte des résultats dont l'interprétation est moins aisée (cf. Tableau 2.).

**Tableau 2.6: Comparaison du modèle amendé et du modèle non amendé de Bussière appliqués à Saint-Paul-Le Port**

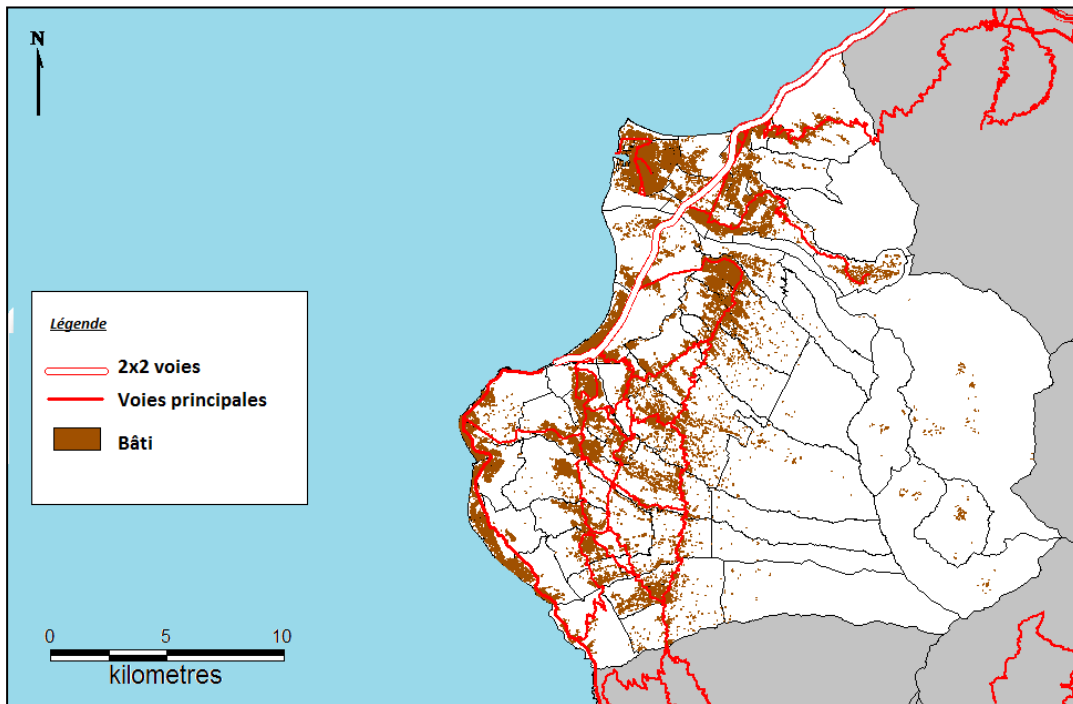
	Modèle de Bussière			Modèle amendé de Bussière			
	A	b	R <sup>2</sup>	A	b	K	R <sup>2</sup>
<b>1990</b>	144.22	0.0758	0.973	486.97	0.9845	3097.71	0.983
<b>1999</b>	167.68	0.0737	0.982	589.69	0.985	3751.33	0.982
<b>2008</b>	176.68	0.0694	0.986	676.02	1.0162	4307.35	0.979

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Alors qu'en 1990 le modèle amendé de Bussière fournit des résultats sensiblement plus robustes (0.983 contre 0.973), en 2008 c'est le modèle normal qui fournit les meilleurs résultats (0.986 contre 0.979). En 1999, les deux modèles fournissent le même coefficient de détermination : 0.982.

En considérant les valeurs des gradients et densité centrale, nous pouvons remarquer une nette différence lors de la comparaison des deux modèles. Le modèle amendé donne ainsi un gradient de densité avoisinant l'unité, ce qui doit normalement traduire un espace urbain compact alors que le gradient de densité donné dans le modèle normal tend vers 0, ce qui traduit plutôt une forte tendance à l'étalement. Dans la réalité on constate un bâti assez diffus et concentré sur les zones littorales autour des axes de transport (Carte 2.17).

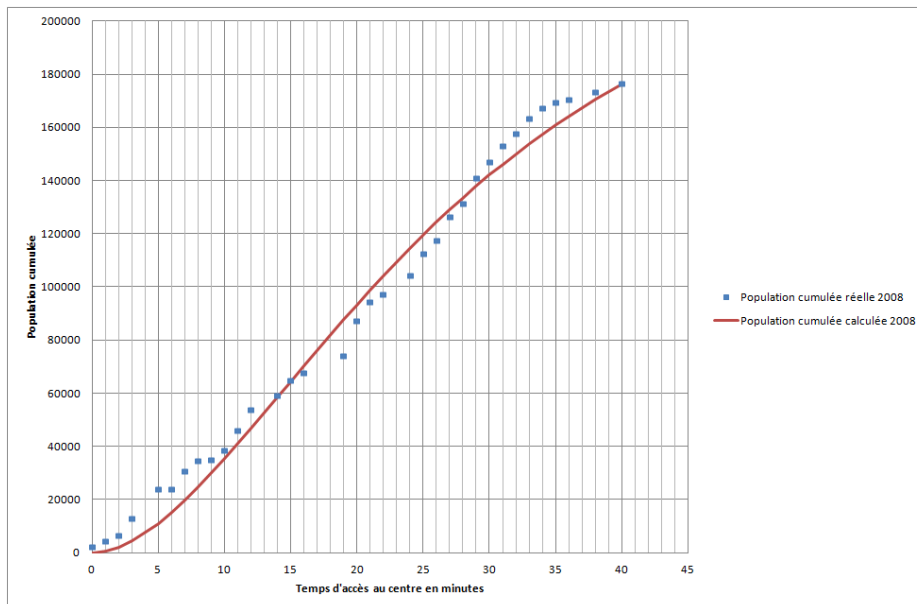
### Carte 2.17 : Répartition du bâti dans l'aire urbaine de Saint-Paul



Source : données INSEE et IGN, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Ainsi, la possibilité d'un gradient de densité valant 1 semble non adaptée. D'ailleurs, si on observe le graphique représentant courbe théorique et courbe empirique pour l'année 2008 par exemple, on observe bien la non-représentativité du modèle amendé de Bussièrre (Figure 2.6).

**Figure 2.6 : Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, population cumulée en 2008 : comparaison entre courbe empirique et courbe théorique (modèle amendé)**



Conception : F. Bénard, 2012

La forme du nuage de points observé sur la figure 2.6 suggère la possibilité d'une régression linéaire en deux étapes : en effet, une rupture semble intervenir à 16 minutes du centre. Ainsi,

une première régression linéaire pourrait intervenir entre le centre et 16 minutes du centre et une seconde régression à partir de 19 minutes (aucun IRIS n'étant positionné sur l'intervalle ]16 ;19[ ). On considère alors un centre-ville étalé dans un rayon de 16 minutes et une couronne urbaine enregistrée à partir de 19 minutes. Les deux équations prennent alors la forme  $y = \varphi x + \theta$  avec  $\theta$  la population centrale et  $\varphi$  le taux de changement de la courbe.

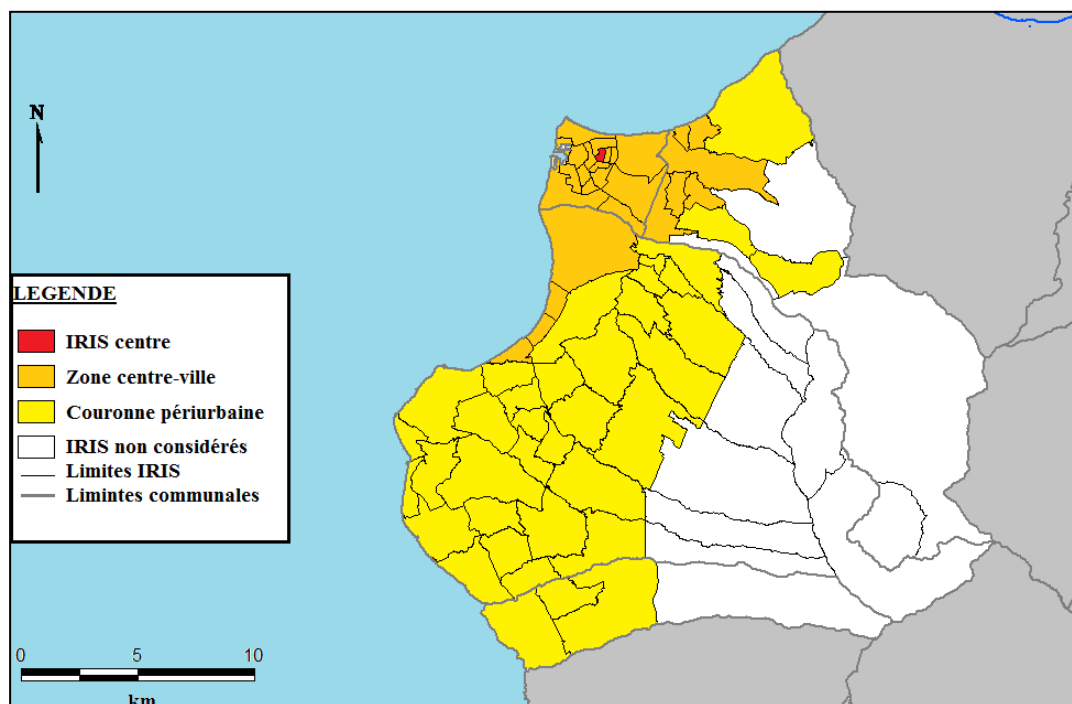
**Tableau 2.7 : Résultats d'une double régression linéaire**

	1990		1999		2008	
	Centre-ville	Couronne périurbaine	Centre-ville	Couronne périurbaine	Centre-ville	Couronne périurbaine
$\varphi$	3 290	3 550	3 846	4 352	4 209	5 198
$\theta$	2 724	-5 210	1 814	-7 542	159	-15 575
<b>R2</b>	0.987	0.971	0.993	0.966	0.991	0.962

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Les résultats présentés dans le tableau 2.7 permet plusieurs séries de constatations. Dans un premier temps, on remarque que les pentes  $\varphi$  du centre-ville sont plus faibles que celles enregistrées dans la couronne périurbaine. Cela semble donc signifier que la couronne périurbaine enregistre une augmentation de la population en fonction des temps d'accès plus importante. Cela semble assez logique : en effet dans le centre ville, tout est à proximité (dans un rayon de 16 minutes) ; ainsi, les temps d'accès ont un impact moins déterminant dans la localisation dans ce rayon que dans la couronne périurbaine. De plus, on constate une plus forte augmentation de la pente en couronne qu'en centre ville : on enregistre en effet +27.9% pour le centre ville contre +46.4% pour la couronne. Cela suggère donc que l'aire urbaine de Saint-Paul serait en phase de suburbanisation : l'augmentation de la population en couronne se fait plus rapidement que l'augmentation de la population dans le centre ville. Dans un second temps, on remarque que les valeurs prises par  $\theta$  sont d'un ordre de grandeur corroborant avec la réalité pour le centre ville en 1990 et 1999 mais sous estime largement la réalité en 2008. La population centrale est en effet de 2 493 habitants en 1990, 2 983 habitants en 1999 et 2 267 habitants en 2008. On remarque également que la valeur de  $\theta$  à tendance à diminuer pour le centre, ce qui suggère une perte de population de l'IRIS centre. Les valeurs prises par  $\theta$  pour la couronne périurbaine ne sont présentes qu'à titre indicatif. Seules les valeurs de la pente permettent une interprétation dans le cas de la couronne. Enfin, on constate une bonne qualité d'ajustement avec des coefficients de détermination moyen de 0.99 pour les ajustements du centre et de 0.97 pour les ajustements de la couronne périurbaine. La carte 2.18 permet de visualiser l'organisation de la population sur le territoire de Saint-Paul-Le Port. On constate un centre-ville étalé sur toute la commune du Port, six IRIS de La Possession et quatre IRIS littoraux de Saint-Paul.

**Carte 2.18 : Représentation cartographique des résultats du double ajustement linéaire sur l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



Source : données INSEE et IGN, Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

On constate que la zone centre-ville s'étale sur une aire assez large correspondant à 17% du territoire considéré de l'aire urbaine et 4.6% du territoire entier de l'aire urbaine. Cet étalement sur plusieurs IRIS de la zone centre est conforme aux résultats mis en évidence dans le modèle de Bussière calculé précédemment : en effet, les valeurs prises par A correspondent à la densité dans un rayon de 8 minutes autour de l'IRIS central, ce qui revient à considérer la quasi-totalité de la commune du Port comme centre de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port.

La bonne qualité d'estimation du double ajustement linéaire effectué peut s'expliquer par le fait que le développement urbain de Saint-Paul se fait en fonction des axes de transports principaux : un développement littoral le long de la RN1 et un développement de mi-hauts le long de plusieurs départementales. On constate en effet sur la carte 2.17, que plus on s'éloigne des axes de transports, plus le bâti est éparse.

Trois séries de conclusions peuvent être tirées de l'analyse de l'aire urbaine de Saint-Paul-le port. Dans un premier temps, on constate un étalement urbain important mettant en évidence deux zones : une zone centrale étalée dans un rayon de 16 minutes autour de l'IRIS centre et une couronne périurbaine localisée au-delà de 19 minutes de l'IRIS centre. On remarque ainsi une « cassure » entre la zone centrale et la couronne en termes de temps d'accès mais également en termes de valeur des pentes. En effet, dans un second temps, on remarque que les pentes enregistrées par la couronne périurbaine sont plus importantes que celles enregistrées par le centre et, de surcroît, les pentes des couronnes enregistrent une plus forte progression entre 1990 et 2008. Enfin, on peut apporter une qualification à l'étalement de

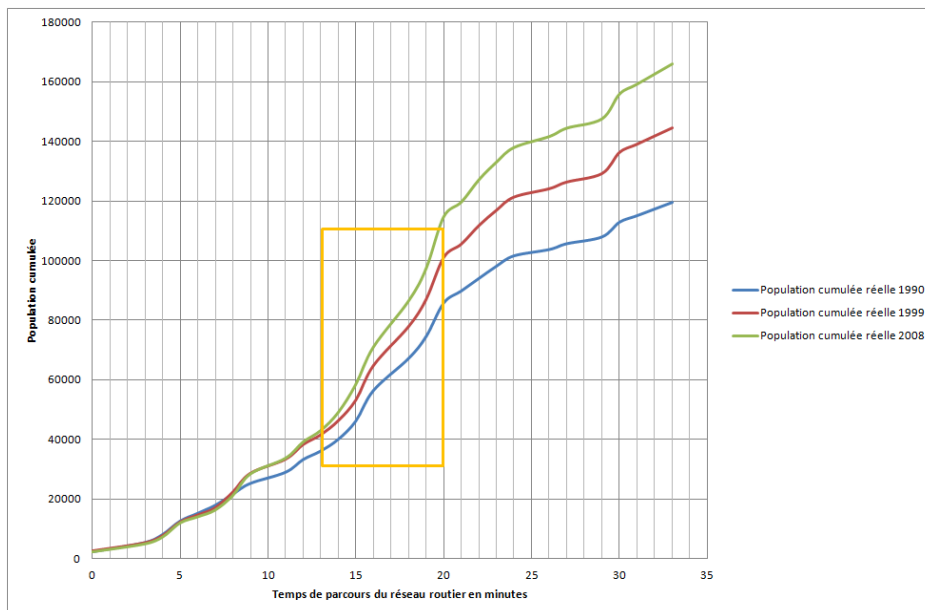


l'aire urbaine de Saint-Paul-le Port qui semble dépendre fortement des axes de transports : nous avons ainsi un étalement linéaire de la population autour des axes principaux de transport. Ce troisième et dernier constat s'appuie sur trois éléments : l'ajustement linéaire, l'étude empirique de la répartition du bâti dans l'espace saint-paulois et la cassure entre la couronne et le centre, induite par un réseau routier moins dense en couronne.

### III.3.3 Saint-Pierre : un étalement diffus, un espace polycentrique ?

L'étude de l'aire urbaine de Saint-Pierre fournit des résultats convenables au regard de la valeur des coefficients de détermination dans le modèle de Bussière, mais l'analyse des courbes de population cumulée fait apparaître un possible effet d'agglomération au-delà de 13 minutes du centre choisi. En effet, malgré un coefficient de détermination de 0.98 sur les trois années étudiées pour le modèle de Bussière (cf. Tableau 2.4) (l'application de l'amendement n'apporte aucune amélioration au modèle initial), la forme des courbes fait apparaître trois pentes bien distinctes : une première pente entre 0 et 12 minutes, une seconde pente entre 13 et 20 minutes et une troisième et dernière pente au-delà de 20 minutes (Figure 2.7).

**Figure 2.7 : Courbes de population cumulée de l'aire urbaine de Saint-Pierre**



Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

L'existence de ces trois pentes ne posent pas de problème en soi, c'est plutôt le fait que la pente de la deuxième partie de la courbe soit plus forte qui vient questionner le choix du centre effectué initialement. En effet, ce constat peut trouver deux explications possibles : dans un premier temps, on peut en effet considérer que le choix du centre est inadéquat et que donc le critère choisi pour l'identification du centre doit être modifié, dans un second temps, on peut supposer que le modèle monocentrique est peu adapté à la description de l'air urbaine

de Saint-Pierre, puisque les courbes de population cumulée semblent faire apparaître un éventuel second centre.

### **Cas 1 : Mauvais choix du centre**

En considérant que le choix du centre sur un critère de densité n'est pas adéquat à l'aire urbaine de Saint-Pierre, nous devons reconsidérer notre choix. Pour le choix du nouveau centre, nous avons plusieurs possibilités : nous pouvons explorer la piste de l'accélération de la pente ou continuer à considérer les densités en identifiant les différents pics de densité.

Pour plus de lisibilité nous allons donner une dénomination précise à chacun des centres considérés. Ainsi, le centre initialement choisi est désigné comme centre  $\alpha$ . Nous allons maintenant explorer deux pistes : dans un premier temps, en tenant compte de l'accélération de la courbe de population cumulée à 13 minutes du centre  $\alpha$ , nous proposons de considérer les IRIS situés précisément à 13 minutes du centre  $\alpha$  en tant que nouveau centre  $\beta$ . Dans un second temps, nous proposons de classer les IRIS par ordre de densité (du plus dense au moins dense) et de considérer les IRIS les plus denses en tant que centres potentiels ( $\omega$ ).

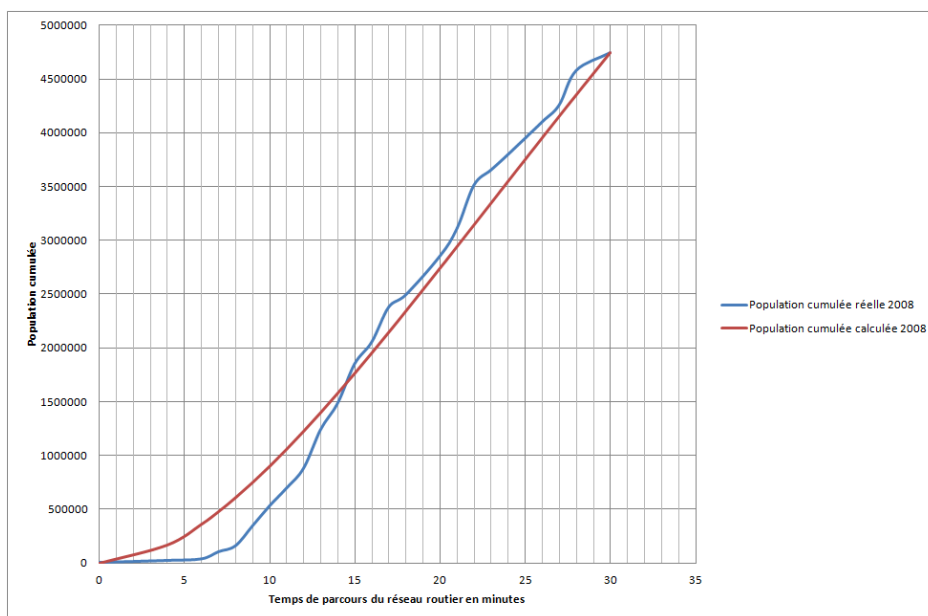
#### **Centre $\beta$**

Le centre  $\beta$  se compose de deux IRIS contigus situés à 13 minutes du centre  $\alpha$ . La fusion de ces deux IRIS pour le calcul d'un centroïde unique permet de produire de nouvelles courbes théoriques et empiriques<sup>12</sup>. La figure 2.8 et le tableau 2.7 donnent un aperçu des courbes empirique et théorique pour l'année 2008 et des valeurs prises par les paramètres  $A$  et  $b$ . nous constatons une bonne qualité d'estimation avec un coefficient de détermination de 0.97 sur les trois années étudiées. Néanmoins, nous constatons que la courbe empirique est assez plate jusqu'à 6 minutes (Figure 2.8). Cela remet donc en cause le choix du centre  $\beta$  : on constate en effet, que dans un rayon de 6 minutes autour du centre, il y a peu de population additionnelle.

---

<sup>12</sup> La méthodologie utilisée reste la même : calcul des chemins le plus court de centroïde à centroïde sur Google Maps et optimisation des paramètres  $A$ ,  $b$  et  $K$  du modèle de Bussière et du modèle amendé sur tableur.

**Figure 2.8 : Application du modèle de Bussière sur l'aire urbaine de Saint-Pierre, centre  $\beta$ , 2008**



Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

**Tableau 2.8 : Valeurs des paramètres lors de l'application du modèle de Bussière**

	1990	1999	2008
A	2857.80	3381.39	3812.68
b	0.0443	0.0439	0.0435
R2	0.971	0.973	0.974

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

### Centre $\omega$

En réalisant une classification des IRIS selon leur densité en 2008, nous proposons de considérer le second IRIS le plus dense en tant que centre potentiel  $\omega$ . L'IRIS ZAC Bank-La Charité est le second IRIS le plus dense de l'aire urbaine de Saint-Pierre, avec une densité de 6 438 hab./km<sup>2</sup> en 2008. Situé stratégiquement au sein de l'aire urbaine de Saint-Pierre, il constitue une sorte de carrefour au sein de l'aire urbaine (Carte 2.19).

**Carte 2.19 : ZAC Bank- La Charité, carrefour de l'aire urbaine de Saint-Pierre**

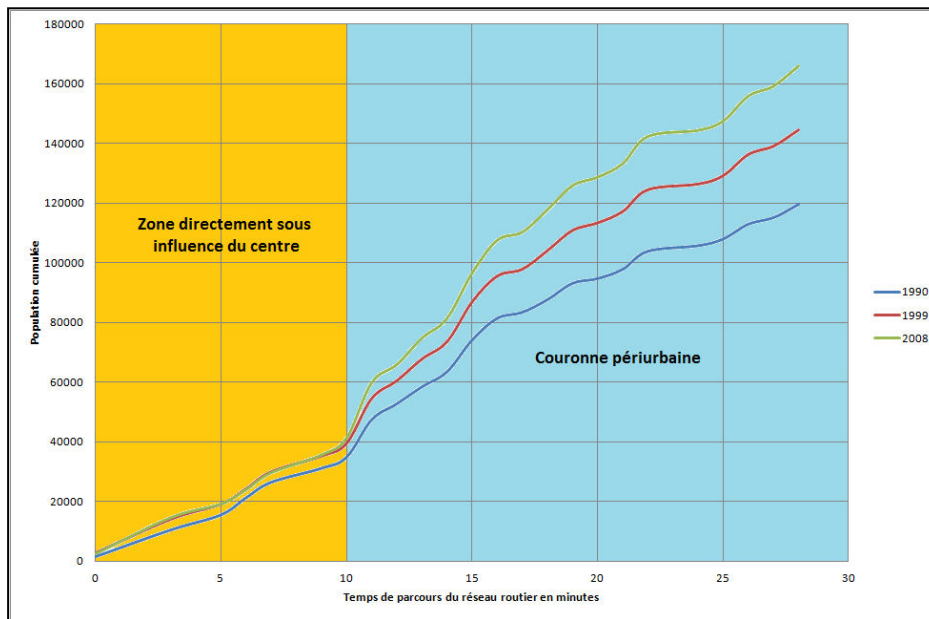


Source : GoogleMaps, Réalisation : Fiona Bénard, 2012

En effet, l'IRIS ZAC Bank-La Charité, soit le centre  $\omega$ , est un passage presque incontournable de l'aire urbaine de Saint-Pierre : la seule voie rapide du réseau routier saint-pierrois (RN 2+ RN3, 2X2 voies à 110 km/h) traverse Saint-Pierre depuis l'ouest jusqu'à l'entrée sud de la commune du Tampon en jouxtant l'IRIS  $\omega$ . La commune de Petite-Île n'est accessible que par une route nationale (N2) au départ de l'IRIS  $\omega$  et limitée à 70 km/h au maximum sur quelques petites portions seulement. La commune de l'Entre-Deux n'est, elle, accessible que par les routes départementales au départ de la RN1 ou 3 qui jouxtent l'IRIS  $\omega$ .

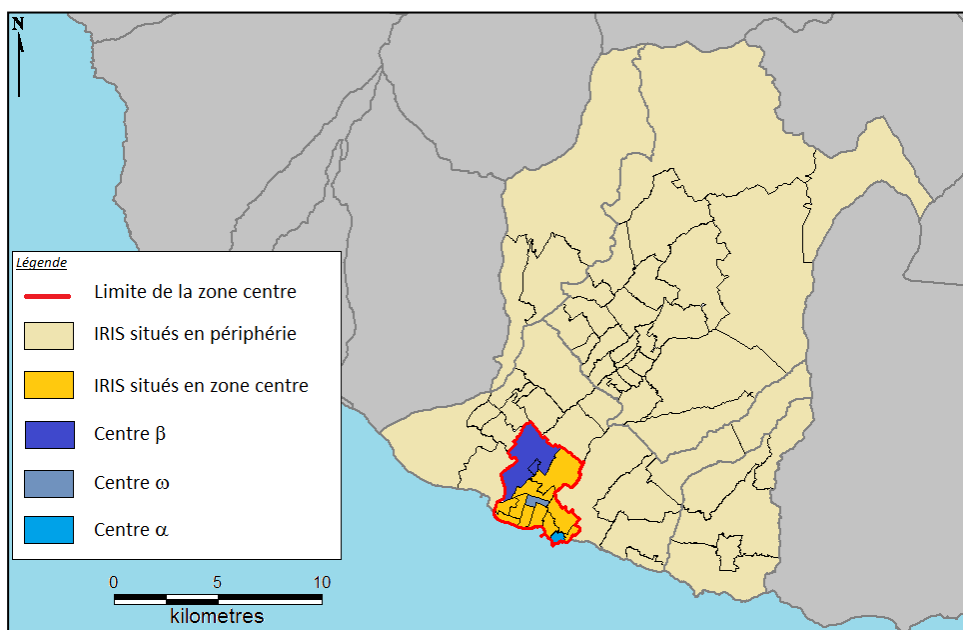
La reproduction des courbes de population cumulée empirique avec la même méthodologie utilisée précédemment, permet d'identifier deux zones autour du centre. Nous obtenons en effet des courbes plutôt linéaires et nous pouvons clairement distinguer deux pentes dans les courbes ce qui permettrait d'identifier deux types de zones (Figure 2.9) : une première zone identifiée dans un rayon de 10 minutes autour du centre (en orange) et une deuxième zone identifiée au-delà de 10 minutes du centre  $\omega$ , la couronne périurbaine (en bleu). Ce zonage permet donc d'identifier à partir du centre  $\omega$ , une première couronne que l'on peut assimiler à un centre ville, et une couronne périurbaine (cf. Carte 2.20).

**Figure 2.9 : Courbes de population cumulée depuis le centre  $\omega$**



Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

**Carte 2.20 : Zonage de l'aire urbaine de Saint-Pierre, centre  $\omega$**



Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

On remarque alors que le centre ville est composé des centres  $\alpha$  et  $\beta$ . Le centre de l'aire urbaine de Saint-Pierre serait donc étalé sur une zone comprenant plusieurs IRIS.

Le paramétrage du modèle de Bussière en calculant les valeurs optimales de  $A$  et  $b$ , permet de constater un centre étalé dans un rayon de 5 minutes et un gradient de densité  $b$  extrêmement faible : 0.1 en moyenne sur les trois années, ce qui traduit un étalement urbain important. Les coefficients de détermination obtenus sur les trois années mettent en évidence une bonne représentativité du modèle (Tableau 2.8).

**Tableau 2.9 : Valeur des paramètres lors de l'application du modèle de Bussière**

	1990	1999	2008
<b>A</b>	265.41	295.28	311.52
<b>b</b>	0.11	0.10	0.09
<b>R2</b>	0.983	0.981	0.980

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Le modèle amendé n'apporte aucune amélioration au modèle initial : nous obtenons une valeur nulle à  $K$  et des valeurs de  $A$  et  $b$  similaires au modèle normal. L'étalement urbain de l'aire urbaine de Saint-Pierre est donc limité au-delà d'une certaine distance (temps d'accès). Néanmoins, contrairement à Saint-Denis, où la forme de la courbe admet franchement une asymptote horizontale bornant ainsi la population, la forme de la courbe empirique de Saint-Pierre est linéaire et la pente est strictement non nulle. En opérant une double régression linéaire sur les courbes empiriques en considérant une zone allant du centre  $\omega$  à 10 minutes et une seconde zone à partir de 10 minutes du centre, nous obtenons des coefficients de détermination moyen de 0.99 pour le centre ville et 0.96 pour la couronne périurbaine pour les trois années étudiées (cf. Tableau 2.9).

**Tableau 2.10 : Résultats d'une double régression linéaire**

	1990		1999		2008	
	Centre-ville	Couronne périurbaine	Centre-ville	Couronne périurbaine	Centre-ville	Couronne périurbaine
$\varphi$	3 412	4 062	3 680	5 106	3 796	6 043
$\theta$	509	9 714	2 354	6 233	2 179	2 003
<b>R2</b>	0.989	0.958	0.993	0.961	0.992	0.962

Equation :  $y = \varphi x + \theta$  avec  $\theta$  la population centrale et  $\varphi$  le taux de changement de la courbe.

Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

La valeur de  $\theta$  de la régression du centre-ville représente la population au centre (valeur de  $P(x)$  quand  $x = 0$ ). On constate des valeurs d'un ordre de grandeur correspondant à la réalité pour 1999 et 2008 tandis que la régression de 1990 sous estime la population localisée au centre. Nous recensons en effet 1 330 habitants dans le centre  $\omega$  en 1 990 (contre 509 habitants déterminés par la régression), 2 586 habitants en 1 999 (2 354 dans la régression) et 2 541 habitants en 2008 (2 179 dans la régression). L'analyse de la valeur prise par la pente  $\varphi$  permet une interprétation en deux points : tout d'abord, on constate que les temps d'accès ont moins d'impact sur la répartition de la population dans le centre ville que dans la couronne périurbaine. En effet, la pente constatée pour le centre ville est inférieure à la pente de la couronne périurbaine (pour chaque année étudiée), ce qui signifie donc que la population augmente plus vite en fonction des temps d'accès dans la couronne périurbaine que dans le centre (une faible variation de  $x$  entraîne une forte variation de  $P(x)$ ). Ensuite, on remarque une accélération des pentes entre 1990 et 2008 (en centre ville et en couronne périurbaine), ce

qui traduit une augmentation de la population et une augmentation des densités. On constate néanmoins, que la couronne périurbaine semble plus attractive que le centre ville, puisque la valeur de la pente augmente de 49% de 1990 à 2008 en couronne et de 11% seulement en centre ville. Selon ces résultats, l'aire urbaine de Saint-Pierre serait donc en phase de suburbanisation, la couronne périurbaine enregistrant une croissance plus importante que le centre ville.

En conclusion du test d'une configuration monocentrique, le centre  $\omega$  semble donner de meilleurs résultats : sa localisation géographique dans un nœud central de dispersion du réseau routier semble en effet favoriser sa fonction de centre. Néanmoins, le modèle adapté pour décrire la répartition de la population autour de ce centre n'est pas évident à choisir : le modèle de Bussière fournit d'excellents résultats avec de bons coefficients de détermination mais la forme des courbes paraît plutôt linéaire. Nous pouvons, de plus, observer des oscillations répétitives des courbes de population cumulée (cf. Figure 2.9). Ces différents biais laissent ainsi envisager la possibilité d'une configuration non monocentrique à Saint-Pierre. Ainsi, nous proposons de considérer également l'hypothèse polycentrique.

### **Cas 2 : cas de polycentrisme**

Le cas de Saint-Pierre est assez complexe. Le dernier centre considéré (le centre  $\omega$ ) permet, à l'étude de la courbe de population cumulée, l'identification de deux zones linéaires distinguées par deux pentes différentes. La pente de la deuxième partie de la courbe, que nous avons identifiée comme étant la couronne périurbaine, est plus forte que celle du centre. C'est pourquoi l'hypothèse de la phase de suburbanisation a été avancée. Néanmoins, une autre hypothèse pourrait être envisagée : celle de la possibilité d'un second centre. Cette seconde hypothèse s'appuie notamment sur le calcul de différents indices de concentration du territoire de l'aire urbaine de Saint-Pierre. Bretagnolle, dans l'étude des indices de concentration de la population sur un territoire, met en exergue, en 1996, deux indicateurs permettant de résumer l'ensemble des indicateurs de concentration : l'indice de Gini et l'indice de Hoover. C'est finalement à partir de la courbe de Lorenz que l'on peut calculer les indices de concentration. Utilisée à la base pour mesurer les inégalités de revenu, la courbe de Lorenz permet également de mesurer la répartition d'une quelconque donnée statistique : elle peut ainsi s'appliquer à l'étude de la répartition de la population sur le territoire. En effet, l'indice de Gini est égal au double de l'aire comprise entre la première bissectrice (représentant une distribution uniforme) et la courbe de Lorenz. La valeur de l'indice est comprise entre 0 et 1, 0 indiquant une distribution uniforme et une valeur proche de 1 indiquant une forte concentration. Si les quartiers IRIS (zonage de notre étude) sont classés par ordre de densités décroissantes, l'expression mathématique de l'indice de Gini est la suivante :

$$\text{Indice de Gini} = \sum_{i=1}^Q (x_{i+1} - x_i)(x_{i+1} + x_i - y_{i+1} - y_i) \quad (2.25)$$

Avec  $Q$ , le nombre total d'IRIS et  $x_i$  et  $y_i$  sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée d'un point  $i$  de la courbe Lorenz.

L'indice de Hoover varie également entre 0 et 1, 1 indiquant une forte concentration et 0 une répartition uniforme. L'indice de Hoover permet de mesurer le degré d'inégalité dans la répartition spatiale de la population. Dans le cadre d'étude sur la répartition du revenu, l'indice correspond à la quantité de ressource qu'il faudrait redistribuer pour aboutir à une distribution uniforme. Dans le cadre d'étude de la répartition de la population, il correspond à la portion de l'espace qui doit être « redistribué », c'est-à-dire la portion de l'espace qui doit être densifié. L'expression mathématique de l'indice de Hoover est la suivante :

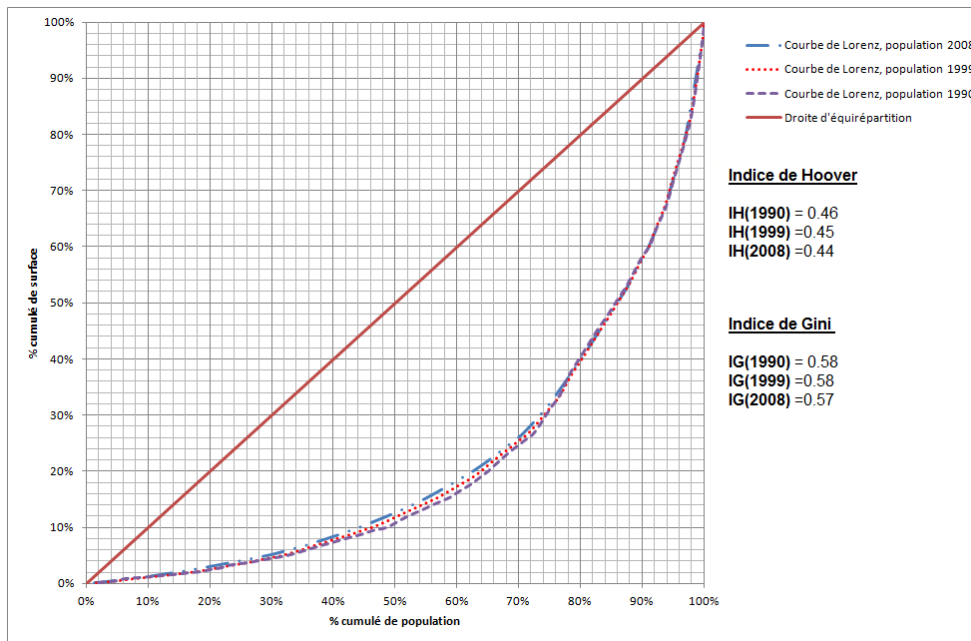
$$\text{Indice de Hoover} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^Q \left| \frac{s_i}{S} - \frac{n_i}{N} \right| \quad (2.26)$$

avec  $Q$ , le nombre total d'IRIS,  $s_i$  et  $n_i$  sont respectivement la surface et la population de l'IRIS  $i$ , et  $S$  et  $N$  sont la superficie totale et la population totale.

Le calcul des indices de Gini et Hoover concernant la répartition de la population de l'aire urbaine de Saint-Pierre permet de mettre en exergue deux constats : dans un premier temps, la courbe de Lorenz indique clairement une grande inégalité de la répartition de la population dans l'espace (Figure 2.10) ; dans un second temps, on constate que même si la répartition est inégalement répartie, l'effet de concentration peut être qualifié de « moyen ». En effet, l'indice de Gini oscille autour de 0.58 sur les trois années étudiées, ce qui traduit une répartition à mi chemin entre l'homogénéité et l'inégalité (Figure 2.10). L'indice de Hoover oscille, lui, autour de 0.45 ce qui signifie donc que 45% du territoire doit être densifié. Le territoire de l'aire urbaine de Saint-Pierre est donc ni parfaitement homogène, ni parfaitement inégal. Les coefficients de Gini et de Hoover le placent en effet à mi chemin : nous sommes donc en présence d'un territoire soumis à une urbanisation diffuse non homogène. Les indices de concentration de valeur moyenne peuvent alors traduire la possibilité d'un espace soumis à l'influence de plusieurs centres.



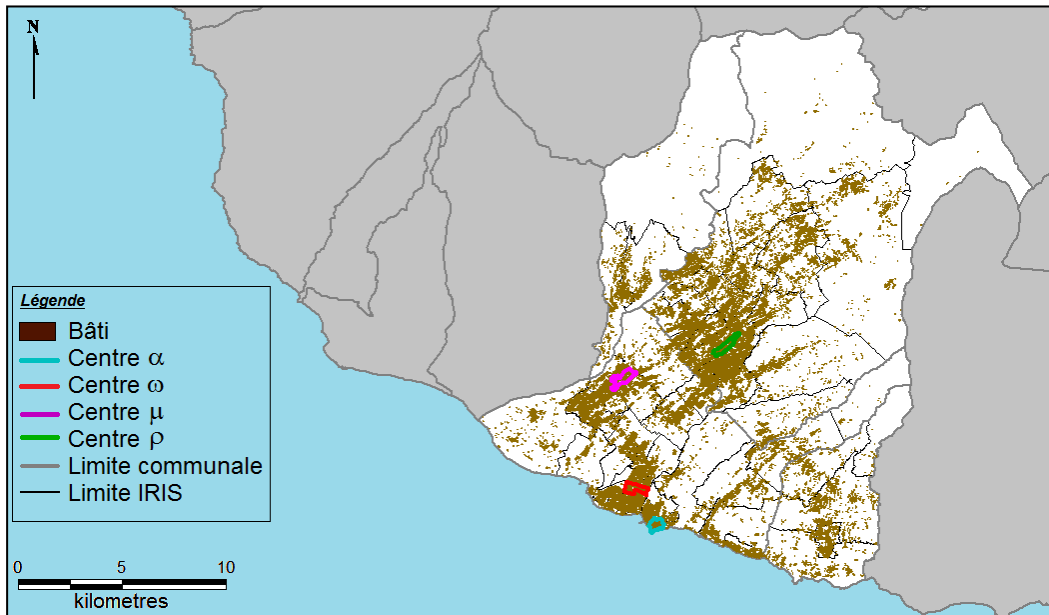
**Figure 2.10 : Courbe de Lorenz appliquée à la répartition de la population sur le territoire**



Calculs, conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

L'hypothèse d'un espace polycentrique est alors testée, d'abord à partir de trois centres, identifiés à partir d'un classement par ordre croissant des IRIS selon leur densité ; puis à partir de quatre centres, le quatrième centre survenant d'une observation purement empirique : une concentration du bâti est en effet observée dans la zone de La Ravine Des Cabris (cf. Carte 2.21). La première zone comprend les centres  $\alpha$  et  $\omega$  déjà testés dans une configuration monocentrique ; la seconde zone comprend le troisième IRIS le plus dense de l'aire urbaine (5 388 hab/km<sup>2</sup>), situé dans la ville du Tampon et dénommé «11<sup>ème</sup> km » que nous allons appeler  $\rho$  ; la troisième zone comprend le neuvième IRIS le plus dense de l'aire urbaine avec une densité de 4 072 hab/km<sup>2</sup> (les IRIS classés quatrième à huitième sont sous influence directe des centres  $\alpha$  et  $\omega$ ) est dénommé « Ravine des Cabris – Centre ». Ce dernier centre identifié sera désigné sous l'appellation  $\mu$  dans notre étude. La carte 21 permet de donner un aperçu visuel de la localisation des centres par rapport à la répartition du bâti sur le territoire de l'aire urbaine.

**Carte 2.21 : Localisation des centres, configuration polycentrique**



Source : données IGN et INSEE 2008, Conception et réalisation : Fiona Bénard, 2012

Le test de la configuration polycentrique est effectué à partir du modèle de Newling (1969). C'est donc sous la forme d'une exponentielle quadratique que nous choisissons de représenter notre fonction de densité. Le choix de la variable densité est préféré à la population cumulée pour des raisons méthodologiques. En effet, la population cumulée est ordonnée par ordre croissant de temps d'accès au centre. L'approche polycentrique entraîne la considération de quatre centres et donc quatre ordres différents (un ordre par centre considéré). Ainsi, un IRIS situé à 2 minutes du centre peut se situer à 5 du deuxième centre, 10 du troisième et 20 du quatrième. Il ne se situe donc pas au même rang selon le centre considéré. L'approche polycentrique implique que la valeur affectée à chaque IRIS correspond à la somme des valeurs calculées à partir des fonctions de densité de chaque centre considéré. La méthode est donc inadaptée aux fonctions de population cumulée.

Ainsi, nous considérons la formulation  $y = Ae^{bx-cx^2}$  (équation 2.4) où  $y$  représente la densité d'un IRIS  $i$ ,  $A$  la densité de l'IRIS centre,  $x$  les temps d'accès au centre,  $-c$  le taux de changement du logarithme de la densité en fonction de la distance au carré et  $b$  le gradient de densité. L'approche polycentrique implique de connaître les relations entre les différents centres. Une formulation permet néanmoins la prise en compte des différents types de relation (c'est-à-dire complémentaire ou substituable) : il s'agit d'effectuer la somme des fonctions de densités (cf. équation 2.12)<sup>13</sup>. Pour chaque centre considéré, les valeurs de  $y$ ,  $A$  et  $x$  sont connues. La valeur de  $-c$  correspond à la pente de la droite de régression du logarithme de la densité en fonction des temps d'accès au carré et la valeur de  $b$  est calculée par optimisation afin de minimiser la somme des résidus entre courbe empirique et courbe théorique.

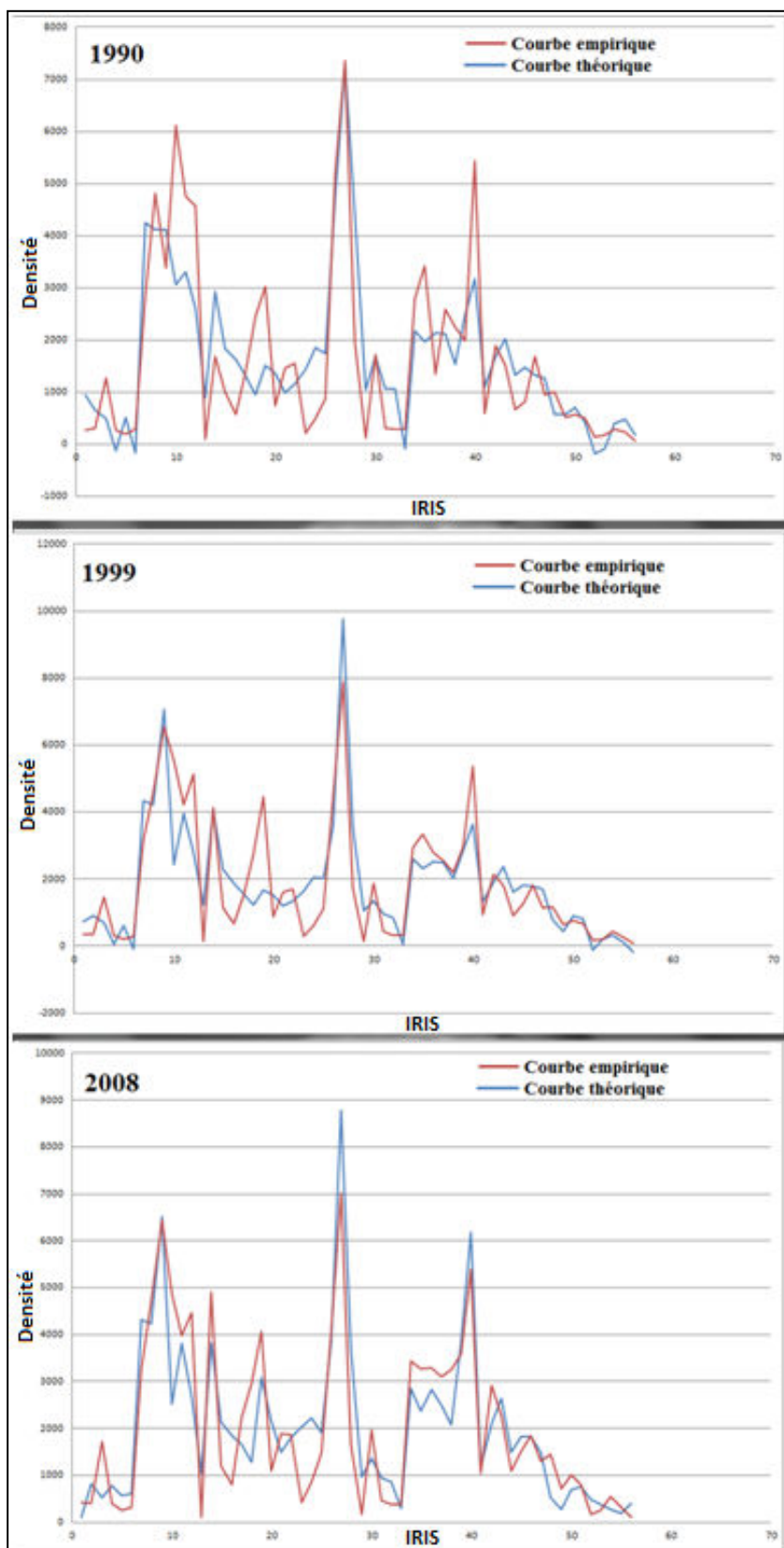
<sup>13</sup> Pour rappel :  $D_i = \sum_{j=1}^N [f_j(d_{i,j})]$

**Tableau 2.11 : Résultats de l'application du modèle de Newling dans une approche polycentrique**

<b>Résultats 2008</b>	<b>Centre <math>\alpha</math></b>	<b>Centre <math>\omega</math></b>	<b>Centre <math>\rho</math></b>	<b>Centre <math>\mu</math></b>
<b>A</b>	7029	6438	5388	4072
<b>b</b>	-0.470	-0.175	-0.273	-0.097
<b>-c</b>	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003
<b>Terme d'erreur</b>	-2185			
<b>R2</b>	0.76			
<b>Résultats 1999</b>	<b>Centre <math>\alpha</math></b>	<b>Centre <math>\omega</math></b>	<b>Centre <math>\rho</math></b>	<b>Centre <math>\mu</math></b>
<b>A</b>	7879	6550	5366	4451
<b>b</b>	-0.601	-0.202	-0.071	-0.012
<b>-c</b>	-0.002	-0.003	-0.002	$4.570 \cdot 10^{-5}$
<b>Terme d'erreur</b>	-6348			
<b>R2</b>	0.72			
<b>Résultats 1990</b>	<b>Centre <math>\alpha</math></b>	<b>Centre <math>\omega</math></b>	<b>Centre <math>\rho</math></b>	<b>Centre <math>\mu</math></b>
<b>A</b>	7362	3369	5436	3015
<b>b</b>	-0.162	-0.099	-0.068	-0.028
<b>-c</b>	-0.002	-0.003	-0.002	$8.972 \cdot 10^{-5}$
<b>Terme d'erreur</b>	-6472			
<b>R2</b>	0.68			

Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Figure 2.11 : Approche polycentrique : comparaison des courbes empiriques et théoriques



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Les résultats présentés dans le tableau 2.10 et la figure 2.11 suggèrent une bonne qualité d'estimation avec des coefficients de détermination assez forts : 0.76 en 2008, 0.72 en 1999 et 0.68 en 1990. La valeur des gradients de densité  $b$  tend vers 0 pour les centres  $\rho$  et  $\mu$  à chaque année étudiée. Cela suggère un étalement urbain important. Pour les centres  $\alpha$  et  $\omega$  néanmoins, on constate un gradient plus élevé que pour les deux autres centres. Ainsi, en 1999 par exemple, le gradient est de -0.601 pour le centre  $\alpha$  et -0.202 pour le centre  $\omega$ . Cela suggère alors que l'aire urbaine de Saint-Pierre enregistre de plus fortes densités en proche périphérie des centres  $\alpha$  et  $\omega$ . De plus, on constate un gradient systématiquement négatif<sup>14</sup>, ce qui coïncide à un profil d'étalement correspondant au profil de la majorité des villes européennes : on y constate en effet une transition douce entre le centre et la périphérie mais on enregistre de fortes densités à proximité du centre. Ce constat permet de remettre en cause l'approche polycentrique appliquée à l'aire urbaine de Saint-Pierre. En effet, on constate effectivement de fortes densités autour de la première zone c'est-à-dire la zone portée par les centres  $\alpha$  et  $\omega$ . Cela suggère donc que ces centres sont de premier ordre si un classement devait être fait pour hiérarchiser les autres centres étudiés. De plus, l'approche monocentrique à partir des centres  $\alpha$  et  $\omega$  fournissait de bons résultats avec de bons coefficients de détermination. Ainsi, pour décrire l'aire urbaine de Saint-Pierre une approche monocentrique à partir des centres  $\alpha$  ou  $\omega$  semble plus adaptée sur les données 1990, 1999 et 2008. Néanmoins, au regard des résultats obtenus lors du test d'une configuration polycentrique, nous pouvons assez prudemment considérer l'aire urbaine de Saint-Pierre en tant qu'espace en mutation : elle est ainsi dominée par une zone centrale forte comprenant les IRIS centre  $\alpha$  et  $\omega$ , mais deux centres secondaires semblent émerger et conduire à terme à un espace polycentrique.

En conclusion, le cas de l'aire urbaine de Saint-Pierre est moins évident que le cas de Saint-Denis. Néanmoins, en considérant le centre  $\omega$ , on peut apporter un modèle assez robuste pour traduire une approche monocentrique mettant en évidence deux zones distinctes : une zone centre et une couronne périurbaine que l'on peut représenter par un double ajustement linéaire ou par un modèle de type Bussière. Cela se justifie assez bien par la position de l'IRIS  $\omega$  qui, nous l'avons précisé précédemment, constitue une sorte de carrefour voire « passage obligatoire » de l'aire urbaine de Saint-Pierre. L'aire urbaine de Saint-Pierre apparaît ainsi structurée par le réseau routier, dont la diffusion permet l'apparition de centres secondaires.

---

<sup>14</sup> Les gradients de densité étant négatif, pour décrire l'aire urbaine de Saint-Pierre, notre choix aurait alors pu se porter sur le modèle de Clark.

## Conclusion du chapitre

Les aires urbaines réunionnaises présentent différentes formes d'étalement qui permettent la réalisation d'études comparables aux études réalisées dans les grandes métropoles. Ainsi, Bussière (1972) a testé son modèle monocentrique d'explication de la répartition de la population par l'étude de la population cumulée autour d'un centre sur des métropoles telles que Paris, Montréal, Toronto ou Stockholm. Par la suite, Tabourin a testé ce même modèle sur Lyon (1995). Il s'agit de métropoles pouvant peser démographiquement jusqu'à 60 fois plus que la principale aire urbaine réunionnaise : l'aire urbaine de Saint-Denis. En effet les aires urbaines étudiées sont relativement petites avec une population de 197 000 habitants pour l'aire urbaine de Saint-Denis en 2008, 177 000 habitants pour Saint-Paul-Le Port et 165 000 pour l'aire urbaine de Saint-Pierre. Le territoire étudié est, de plus, soumis à de fortes contraintes orographiques : entre l'insularité et le relief pentu, le bâti ne peut s'étendre que sur le littoral et les zones de mi-pentes. L'aire urbaine de Saint-Denis représente néanmoins un bon exemple de développement monocentrique avec une qualité d'ajustement du modèle de Bussière quasi-parfaite en affichant un coefficient de détermination tendant vers 1. Le développement de l'aire urbaine de Saint-Denis se fait donc dans un rayon de 35 minutes autour de l'IRIS centre situé dans la zone du Chaudron. Un réseau routier assez dense, qui sera décrit dans le chapitre 3, permet un développement isotrope, ce qui correspond bien à la logique des modèles descendants du modèle de Von Thünen. L'aire urbaine de Saint-Denis, étudiée à travers le modèle de Bussière, présente un territoire étalé et confortant son étalement entre 1990 et 2008. Néanmoins, cet étalement est borné par un facteur important : le relief. En effet, les pentes raides au Sud de l'aire urbaine et la falaise de la Route du Littoral à l'Ouest bornent l'évolution de l'aire urbaine. A l'Est néanmoins, une possibilité de progression est possible mais ce serait sans compter le développement de la ville de Saint-André qui constitue le pôle économique de l'Est et qui, jusqu'à 2008, résiste à l'influence dionysienne.

L'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port présente également une configuration monocentrique, avec tout de même une nette différence par rapport à l'aire urbaine de Saint-Denis : l'étalement de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port se fait de manière linéaire autour d'un axe de transport principal longeant le littoral. Ainsi, la courbe de population cumulée en fonction des temps d'accès à partir du centre qui est, nous le rappelons, situé dans la commune de Port à proximité des zones d'activité, présente une forme linéaire en deux temps. En effet, une « cassure » est observée sur la courbe entre 16 et 19 minutes du centre. Cette cassure peut s'expliquer par le réseau routier. En effet, la zone située entre 0 et 16 minutes se trouve à proximité directe du centre notamment par la présence d'une 2X2 voies qui traverse les communes de La Possession et du Port et qui prend fin à l'entrée ouest de la commune de Saint-Paul<sup>15</sup> (cf. Chapitre 3). Le cas de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port peut donc être

---

<sup>15</sup> Nous précisons que ce constat n'est plus vérifié aujourd'hui. En effet, l'étude porte sur une période de 18 ans allant de 1990 à 2008. En 2009, la Route des Tamarins a été inaugurée et permet ainsi de relier Saint-Paul à l'Etang-Salé par une 2X2 voies. Le réseau routier de l'aire urbaine de Saint-Paul a donc été modifié et de nombreuses zones de mi-hauts et des hauts se trouvent maintenant plus proches en minutes du centre.

décrit par une double régression linéaire : une régression pour une zone qualifiée de centre et une régression pour la couronne périurbaine. Les résultats permettent de mettre en évidence deux constats : l'étalement de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port s'est renforcé entre 1990 et 2008 ; et de plus, les pentes enregistrées par la couronne périurbaine sont plus importantes que les pentes enregistrées par le centre. Ainsi, l'aire urbaine de Saint-Paul Le Port semblerait se trouver dans une phase de suburbanisation où la périphérie évolue plus rapidement que le centre.

Le cas de l'aire urbaine de Saint-Pierre est le plus complexe à traduire. En effet, diverses configurations ont été envisagées : l'hypothèse monocentrique a été testée à travers le modèle de Bussièrre et une approche linéaire en considérant plusieurs possibilités de centre ; et l'hypothèse polycentrique a été testée à travers une fonction de densité en considérant que l'aire urbaine s'organise autour de quatre centres identifiés par leur forte densité et de manière empirique. L'hypothèse monocentrique fournit de très bons résultats en considérant le modèle de Bussièrre ou en considérant une approche linéaire. Une configuration se distingue néanmoins : le test d'une double régression linéaire à partir d'un centre particulier, le centre  $\omega$  (ZAC Bank- La Charité). En effet, cette approche fait apparaître, comme pour le cas de Saint-Paul-Le Port, deux zones distinctes : une zone centre s'étalant dans un rayon de 10 minutes autour de l'IRIS  $\omega$  et une couronne périurbaine au-delà de 10 minutes. Cette approche fournit une bonne qualité d'ajustement : les coefficients de détermination avoisinent les 0.99 pour la zone centre et 0.96 pour la couronne). Les conclusions tirées de cette approche sont les mêmes que pour le cas de Saint-Paul- Le Port : l'aire urbaine enregistre un étalement urbain qui se renforce dans le temps ; la population augmente plus rapidement en couronne périurbaine que dans la zone centre, ce qui suggère que l'aire urbaine de Saint-Pierre se trouve également en phase de suburbanisation. Une autre conclusion peut être tirée de cette approche, grâce à la comparaison des pentes des courbes de population cumulée de Saint-Pierre et de Saint-Paul- Le Port. On constate en effet, à l'étude des tableaux 2.7 et 2.9, des ordres de grandeur similaires pour les deux aires urbaines. Ainsi les deux aires urbaines semblent avoir évolué de manière assez semblable entre 1990 et 2008. Le réseau routier saint-pierrois est d'ailleurs, à l'instar de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port, très peu doté en 2X2 voies. L'hypothèse polycentrique fournit également des résultats intéressants : l'analyse sur quatre centres différents a ainsi mis en évidence un modèle de densité affichant un coefficient de détermination de 0,7 et affichant des courbes théoriques suivant les mêmes tendances que les courbes empiriques. Néanmoins, au regard des coefficients de détermination, l'approche monocentrique autour du centre  $\omega$  a été sélectionnée pour décrire les données de 1990 à 2008 bien que les résultats laissent supposer une mutation de l'aire urbaine vers un espace polycentrique.

Les indices d'étalement calculés avaient permis de mettre en évidence la présence plus importante d'IRIS de haute densité dans l'aire urbaine de Saint-Denis. Les aires urbaines de Saint-Paul- Le Port et de Saint-Pierre sont effet plus faiblement dotées en IRIS fortement dense. Cela induit donc un étalement urbain plus prononcé qu'à Saint-Denis et comparable dans ces deux aires urbaines. L'application de deux seuils différents a permis de mettre en

évidence les mêmes constats : le premier seuil est le seuil utilisé initialement par Lopez et Hynes dans leur étude en 2003, le second seuil appliqué considère que 15% de la population réunionnaise réside dans un espace fortement dense. Le second seuil fait apparaître des enjeux particulièrement importants pour Saint-Pierre et Saint-Paul- Le Port avec des indices se rapprochant de 100, ce qui signifie un étalement urbain très important. Dans un contexte de croissance démographique importante à la Réunion, nous retenons que le choix du second seuil conduit à alerter sur l'urgence d'une politique de structuration de l'aménagement urbain. Nous introduisons ici le terme de structuration de l'aménagement urbain et plutôt que de densification, cette dernière pouvant prêter à des interprétations trop littérales.

Ce chapitre a permis de mettre en évidence les formes d'étalement présentes sur l'île de la Réunion : des étalements monocentriques pouvant prendre une forme radioconcentrique à Saint-Denis ou une forme linéaire à Saint-Paul, et les prémices d'un étalement polycentrique à Saint-Pierre. Une variable explicative unique a été considérée lors de ce chapitre : les temps d'accès au centre. Les temps d'accès constituent précisément un des points importants de nos travaux et le choix de cet indicateur est justifié dans le chapitre suivant : le chapitre 3 met ainsi en évidence les différents aspects de la relation transport et urbanisme et une analyse des modèles développés au chapitre 2 est menée en mettant l'accent sur le facteur transport à travers les temps d'accès et le réseau routier.



# CHAPITRE 3

## L'interaction forme urbaine et transport

# Sommaire du chapitre 3

<b>CHAPITRE 3 : L'interaction forme urbaine et transport.....</b>	<b>100</b>
Introduction du chapitre .....	102
I. L'étude des interactions transport-urbanisme .....	103
I.1 Les modèles à quatre étapes .....	105
I.1.1 Les modèles de génération .....	106
I.1.2 Les modèles de distribution .....	107
I.1.3 Les modèles de choix modal .....	108
I.1.4 Les modèles d'affectation .....	109
I.2 Les modèles LUTI : Land Use and Transport Interaction .....	110
II. Application : l'interaction transport-urbanisme à la Réunion .....	115
II.1 Qualification du réseau routier réunionnais .....	116
II.2 Le choix entre temps d'accès et distance kilométrique.....	119
II.3 Saint-Denis : des temps d'accès structurants .....	122
II.4 Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre : les routes au cœur du développement urbain	125
Conclusion du chapitre.....	132

# Introduction du chapitre

La modélisation des transports renvoie à deux types de modélisation : d'une part la modélisation du trafic routier qui met en jeu des modèles d'ingénierie dont l'objectif est l'étude du flux routier en vue d'une amélioration au quotidien des conditions de circulation ; d'autre part, les modèles d'aménagement qui mettent en exergue les relations étroites entre transport et urbanisme et dont le but est la prospective territoriale.

La relation transport-urbanisme n'est pas nouvelle, déjà Von Thünen dans son modèle de rente foncière introduisait la notion de coût de transport. En 1983, Bonnafous et Puel décrivaient le système urbain comme étant l'association de trois sous-systèmes : le sous-système des localisations, le sous-système des déplacements et le sous-système des interactions sociales. En 1994, Wegener décompose à son tour le système urbain, mais en huit sous-systèmes cette fois : les réseaux, l'occupation des sols, les lieux d'emplois, les lieux de logement, les emplois, la population, les biens transports et les déplacements. Toute conceptualisation du système urbain comprend donc une dimension transport. Par ailleurs, depuis la loi Solidarité et Renouvellement Urbains (SRU), le développement durable doit être intégré dans tout projet d'urbanisme faisant ainsi du transport et des déplacements des éléments structurants du système urbain.

Les modèles mis en place dans le chapitre 2 ont permis de mettre en exergue l'impact structurant de la dimension transport dans la répartition de la population réunionnaise. En effet, les formes urbaines identifiées entretiennent une relation étroite avec la dimension transport. Ainsi, l'aire urbaine de Saint-Denis répond à la tradition monocentrique et affiche un développement qui se fait en demi-auréoles autour du centre identifié dans la zone du Chaudron. Ce développement en demi-auréoles est permis par un réseau de transport dense qui permet un développement isotrope de l'aire urbaine. Les temps d'accès au centre jouent particulièrement un rôle déterminant dans la répartition de la population sur le territoire. L'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port affiche également un développement monocentrique mais le développement s'effectue de manière linéaire autour des axes de transport. Le centre de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port est clairement localisé dans la commune du Port et est structuré par les activités de la zone portuaire. Les axes de transports s'étendent depuis la commune du Port parallèlement à la côte et progresse peu vers le centre topographique de l'Île. Ce type d'étalement est qualifié, dans les grandes métropoles, d'étalement en étoile, mais ce terme est peu adapté à la configuration de l'aire urbaine de Saint-Paul-le Port où la répartition du bâti s'effectue réellement le long d'un axe majeur de transport (la Nationale 1 qui longe le littoral). L'aire urbaine de Saint-Pierre affiche en 2008 un développement monocentrique mais qui semble évoluer vers un espace régi par quatre centres. Le centre principal de l'aire urbaine de Saint-Pierre a été identifié selon une méthode différente que celle utilisée pour Saint-Denis et Saint-Paul-Le Port. Les courbes de population cumulée construites à partir de l'IRIS le plus dense affichant des irrégularités, notre analyse a porté sur un IRIS-centre différent. Identifié à partir d'un effet d'agglomération observé sur les courbes de population cumulées initiales, ce nouveau centre est localisé à la confluence des principales voies routières de l'aire urbaine et se positionne ainsi comme un carrefour

obligatoire pour accéder aux différentes zones du territoire saint-pierrois. La considération de ce centre permet ainsi d'identifier un étalement linéaire en deux temps : une zone centre se distingue en effet d'une couronne périurbaine.

L'objectif de ce chapitre est de situer l'impact des transports dans les formes urbaines. En effet, ce chapitre attire l'attention sur l'interaction transport-urbanisme à travers les modèles d'aménagement. Il s'organise en deux parties : dans un premier temps nous allons explorer les fondements de l'approche transport-urbanisme et présenter les différents types de modèles qui découlent de cette interaction. Dans un second temps, nous allons présenter l'interaction transport-urbanisme à la Réunion à travers l'étude des trois aires urbaines. Le modèle de Bussière et les modèles de double régression linéaire sont de nouveau sollicités : l'accent sera particulièrement mis sur les temps d'accès et le réseau routier.

## **I. L'étude des interactions transport-urbanisme**

L'interaction transport-urbanisme vient du système urbain lui-même, qui met en relation système de transport et système de localisations (des ménages et des activités). La relation entre transport et système de localisation avait déjà été mise en évidence par Von Thünen (1826) dans sa théorie de la localisation agricole (développé dans le chapitre 2). Ces travaux sont à la base de la théorie de la rente urbaine qui stipule que les choix de localisation des ménages résultent d'un arbitrage entre accessibilité (c'est-à-dire coût de transport) et consommation de sol (c'est-à-dire les prix fonciers). Fondées sur l'hypothèse monocentrique, ces théories précisent que les coûts de transport diminuent en fonction de la distance au centre d'emploi (le CBD) et ces coûts sont les mêmes pour l'ensemble des ménages suburbains. Dans la même logique, les rentes et les densités diminuent avec la distance au centre. Ainsi, dans ces théories, le système de localisation des ménages est dépendant du système de transport. S'inspirant directement du modèle de Von Thünen, le modèle d'Alonso (1964) formalise la localisation des ménages et des activités. Il se distingue de son prédécesseur par le fait qu'il considère dans son analyse que les différentes activités présentes sur un territoire sont interdépendantes (Cambien, 2010). Ainsi, chaque activité possède sa propre courbe de la rente qu'elle accepte de payer en fonction de sa distance au centre. Le modèle est ainsi centré sur un arbitrage entre accessibilité (coût de transport) et prix du foncier (consommation de sol).

Les théories de localisation ont donné suite à un certain nombre de modèles qui mettent en exergue la place prépondérante des transports dans les modèles de localisation (des ménages ou des activités). Parmi ces modèles, on peut citer les modèles gravitaires qui mettent en évidence, par une analogie à la gravitation universelle de Newton, que les flux gravitaires entre deux pôles dépendent du poids des pôles (emplois) et de la distance qui sépare ces pôles.

D'autres théories économiques permettent également de mettre en exergue cette relation transport-urbanisme. Ainsi, la théorie de la base est reprise par Lowry en 1964 pour la planification urbaine. En considérant l'espace urbain comme un carrefour d'interactions (entre emplois et populations notamment), il analyse la forme urbaine. Il part des emplois dits basiques<sup>16</sup> et de leur distribution sur le territoire pour en déduire la localisation de la population active autour de ces emplois et des services et commerces destinés à cette population. A partir de là, les flux pendulaires et les éventuelles conséquences de changement dans la structure de l'emploi (création ou fermeture d'entreprise) peuvent être déduits.

La matrice d'entrée-sortie de Leontief a également inspiré les modèles transport-urbanisme. En effet, à partir d'une analyse des secteurs économiques qu'il décompose en branche, il établit les liens entre les différentes branches et définit ainsi les flux d'entrée et de sortie de chaque branche. Il établit ainsi les flux fonctionnels. Cette approche permet de décrire mécaniquement le système et produit ainsi une matrice d'entrée-sortie qui va inspirer par la suite un certain nombre de modèles transport-urbanisme tels que TRANUS ou MEPLAN (Deymier et Nicolas, 2005, Homocianu, 2009).

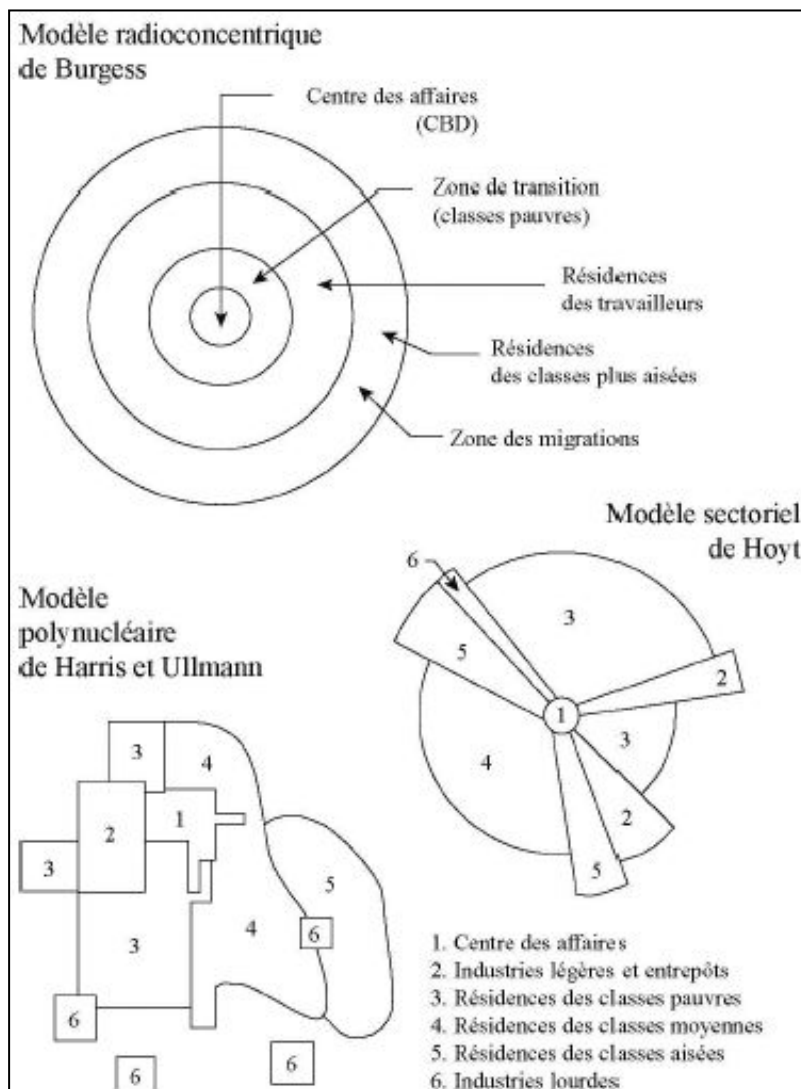
L'écologie urbaine développée initialement par l'école de Chicago, a également introduit la relation transport-urbanisme dans ses principaux modèles. L'écologie urbaine considère la ville dans son ensemble en incluant le citoyen : la ville est alors analysée à travers ses interdépendances avec le citoyen. Trois modèles successifs et complémentaires sont développés : dans un premier temps, le modèle de Burgess, en 1925, introduit une approche sociologique des localisations urbaines en considérant un développement radioconcentrique (qui rappelle l'approche monocentrique des théories de localisation) autour du CBD. Plusieurs couronnes sont alors mises en évidence en fonction de leur occupation ethnique. L'analyse a été effectuée sur des villes nord-américaine et a mis en évidence que les populations pauvres se regroupent autour du CBD tandis que les banlieues sont occupées par les populations les plus aisées. Le second modèle développé est celui de Hoyt (1939), que nous avons déjà abordé dans le chapitre 2. Hoyt considère que les axes de communication conditionnent le développement urbain. Ainsi, l'évolution de la ville ne se fait pas en cercles réguliers autour du CBD mais plutôt de manière sectorielle. Enfin, le troisième modèle qui vient compléter l'analyse de l'écologie urbaine a été introduit par Ullman et Harris (1945). Ils considèrent qu'il existe dans un espace urbain, non pas un seul centre, mais plusieurs noyaux qui rassemblent des types d'activités différentes et qui sont reliés entre eux par des axes de transport et autour desquels s'organise la population.

Cette première partie va s'organiser globalement en deux points : dans un premier temps, nous allons présenter les modèles à quatre étapes qui constituent la base de l'étude de la demande de transport. Ces modèles étudient en effet la mobilité dans toutes ses phases et permettent ainsi de bien comprendre les différentes dimensions et les différents enjeux de la demande de transport. Dans un second temps, nous allons présenter les modèles Land Use and Transport Urbanisme (LUTI) qui constituent des outils opérationnels de prospective territoriale.

---

<sup>16</sup> Les activités basiques sont les activités exportatrices par rapport à l'aire d'étude. Elles s'opposent aux activités induites qui sont générées par la présence des activités basiques.

**Figure 3.1 : Modèles de l'école de Chicago**



Source : Cambien, 2010, p. 29

## I.1 Les modèles à quatre étapes

La définition de la mobilité peut paraître assez simple au premier abord. En effet, il s'agit d'une quantité assez facile à cerner : elle correspond au nombre de déplacements réalisés. Néanmoins, peut-on réellement comparer un déplacement à pied de courte distance et un déplacement en voiture de la banlieue vers le centre ? Ces deux types de déplacements sont globalement différents : alors que le premier utilise peu d'infrastructures, le deuxième est très consommateur et est ainsi au centre des problématiques de planification urbaine (Bonnell, 2004). La planification urbaine et notamment la planification des transports urbains est un champ vaste qui permet de répondre à des questions diverses telles que :

- Quel type de personne, et en quel nombre, va utiliser tel tronçon routier ou tel service de transport ?

- Comment la congestion va-t-elle évoluer sur telle portion de route en fonction de tel ou tel facteur ?
- Comment la modification d'une infrastructure va-t-elle modifier la mobilité quotidienne des personnes ?
- Etc.

Les questions sont donc vastes et pour y répondre il existe différents types de modèles. Cette section va s'attacher à en présenter quelques uns en se basant sur le modèle classique à quatre étapes qui est une approche séquentielle décomposant le choix des caractéristiques des déplacements (origine, destination, mode, itinéraire) en quatre séquences :

- (1) Génération : les modèles de génération estiment le nombre de déplacements effectués par les ménages suivant leur type (motorisation, nombre d'actifs, âge, revenu, etc.) et pour différents motifs (travail, loisir, etc.) ;
- (2) Distribution : les modèles de distribution répartissent l'ensemble des déplacements générés selon une approche gravitaire par exemple ;
- (3) Choix modal : les modèles de choix modal répartissent la demande tous modes entre les différents modes ;
- (4) Affectation : les modèles d'affectation répartissent les flux origine-destination sur le réseau.

Nous allons effectuer une brève présentation de ce modèle à quatre étapes. Pour plus de détails sur cette méthodologie, nous conseillons de consulter l'ouvrage de Bonnel (2004).

### I.1.1 Les modèles de génération

La première étape des modèles à quatre étapes est l'étape de génération qui vise à déterminer le nombre de déplacements réalisés par les résidents du secteur d'étude. Cela consiste donc à déterminer le nombre de déplacements émis et reçus par chacune des zones du terrain d'étude. L'objectif des modèles de génération est de déterminer les émissions et attractions par zone. Les émissions correspondent à l'ensemble des déplacements émis par une zone, c'est-à-dire l'ensemble des déplacements qui trouvent leur origine dans cette zone. Les attractions correspondent à l'ensemble des déplacements reçus par une zone, c'est-à-dire l'ensemble des déplacements qui trouvent leur destination dans cette zone. L'étape de génération doit donc permettre de construire les matrices dites OD, c'est-à-dire les matrices Origine-Destination (Bonnel, 2004).

Il convient de cibler quelles sont les principales variables explicatives de la génération des déplacements et donc les variables présentes dans les modèles de génération. On distingue au préalable les variables influant sur les émissions des variables influant sur les attractions : pour les émissions, les variables sont relatives aux caractéristiques de la population résidant dans la zone, tandis que pour les attractions, les variables sont relatives aux caractéristiques des activités disponibles dans la zone. Ainsi, les variables influant sur les émissions les plus souvent utilisées dans les modèles de génération sont : le revenu (du ménage ou de l'individu) ; la motorisation du ménage ; la composition du ménage (lorsque l'étude porte sur les ménages) ; le nombre d'entités dans la zone (ménages ou individus) ; la répartition par classe d'âge des individus et le nombre d'enfants en âge d'aller à l'école (une répartition par

classe d'âge afin de distinguer les niveaux). De même, les variables les plus courantes dans les modèles de génération concernant l'attraction sont : le nombre d'emplois dans la zone ; le nombre de places dans les écoles, collèges lycées et universités ; le nombre d'entités dans la zone (ménages ou individus).

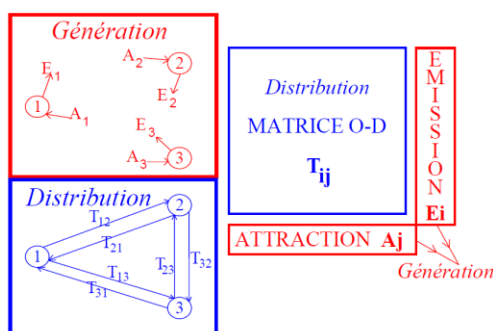
Il existe globalement trois grandes familles de modèles de génération (Bonnell, 2004) :

- les modèles utilisant la méthode normative : en l'absence de données, ces modèles permettent la construction d'études à partir de normes de génération de déplacements. Ces normes sont généralement établies en fonction de divers paramètres tels que la taille de l'agglomération, les caractéristiques des ménages, la structure de l'emploi, etc.;
- les modèles par régression linéaire : ces modèles nécessitent de disposer d'un jeu de données concernant les émissions et les attractions, ainsi qu'un jeu de données sur les caractéristiques des zones étudiées. A partir de ces données, une régression linéaire multiple est alors utilisée pour déterminer les variables qui expliquent le mieux les émissions et attractions par zones.
- et les modèles catégoriels : ces modèles considèrent la variabilité des comportements des individus et des ménages et proposent ainsi d'opérer une classification des individus ou des ménages (selon l'objet d'étude) afin de mieux appréhender cette variabilité. Ainsi, les modèles catégoriels définissent des classes d'individus ou de ménages, puis déterminent un modèle explicatif spécifique par régression pour chacune des classes.

### I.1.2 Les modèles de distribution

L'étape de distribution suit directement l'étape de génération. Le modèle de génération calcule en effet le nombre d'émissions et le nombre d'attractions d'une zone, mais ne permet pas connecter les origines et les destinations des déplacements. C'est l'étape de distribution qui va en effet permettre de relier les origines aux destinations (Bonnell, 2004). Il s'agit donc de produire la matrice Origine-Destination, plus communément appelée matrice OD (Figure 3.2).

**Figure 3.2 : Distribution des déplacements**



Source : Bonnell, 2004, p.194



On peut distinguer trois types de modèles de distribution (Bonnell, 2004) :

Dans un premier temps, nous pouvons citer les modèles à facteurs de croissance : ces modèles consistent, à partir de la matrice de référence, à parvenir à la matrice horizon en réalisant des déformations successives en respectant la contrainte aux marges<sup>17</sup>. Le point de départ de cette étape est donc la matrice de référence. Les marges de cette matrice correspondent aux émissions et attractions en situation de référence. Le modèle de génération permet de calculer les nouvelles marges pour la matrice horizon (c'est-à-dire les émissions et attractions à l'horizon d'étude) à partir d'un facteur de croissance. La matrice de référence ne respectant pas les nouvelles contraintes, il s'agit de déformer progressivement la matrice afin de satisfaire les nouvelles contraintes. Il existe plusieurs méthodes de détermination du facteur de croissance : on peut considérer un facteur uniforme, un facteur différencié en ligne et en colonne ou encore utiliser des algorithmes tels que l'algorithme de Furness ou de Fratar.

Ensuite, les modèles de distribution peuvent être représentés par les modèles gravitaires. Les modèles gravitaires de déplacement sont bâtis sur une analogie avec la loi de la gravitation universelle de Newton qui considère que deux corps s'attirent proportionnellement à leur masse et inversement proportionnel à la distance qui les séparent. Appliqué à l'urbain, on obtient : l'attraction entre deux zones urbaines, représenté par le trafic, est d'autant plus fort que le poids de chaque zone est important (le poids est alors représenté par la variable population ou emplois) et est contrebalancée par la distance qui sépare les deux zones.

Enfin, nous pouvons distinguer les modèles d'opportunité : ces modèles considèrent que les individus choisissent leur destination en fonction du paramètre distance. Ils choisissent la destination la plus proche de leur lieu d'origine. Pour l'application de ce modèle, il suffit donc d'énumérer toutes les destinations possibles et de les classer en fonction de leur distance. La probabilité qu'un individu choisisse une zone est alors égale à la probabilité qu'il ne choisisse pas les zones plus proches multipliée par la probabilité de trouver des opportunités susceptibles de le satisfaire dans la zone.

Parmi ces trois familles de modèles, les modèles gravitaires sont les plus utilisés.

### I.1.3 Les modèles de choix modal

C'est la troisième étape des modèles à quatre étapes. Les modèles de choix modal interviennent juste après les modèles de distribution car ils en utilisent les résultats. En effet, à l'issue des modèles de génération et de distribution, il est possible de construire la matrice OD. Dans l'étape de choix modal, on décompose cette matrice en autant de matrice en fonction du mode de déplacement.

Les principales variables explicatives du choix du mode sont :

---

<sup>17</sup> La contrainte aux marges induit que la somme des déplacements sortant de la zone  $i$  vers chacune des zones  $j$  doit être égale à l'émission de la zone  $i$  calculée à l'étape de génération.

- l'offre de transport, à travers les variables prix et temps, et à moindre mesure le stationnement,
- les caractéristiques du déplacement, dont les indicateurs principaux sont l'origine et destination, le motif du déplacement, l'horaire du déplacement, etc.,
- les caractéristiques de l'individu ou du ménage qui sont appréhendées à travers le taux de motorisation, le sexe, l'âge, la profession, etc.

Il existe deux familles principales de modèle de répartition modale : les modèles agrégés et les modèles désagrégés. Les modèles agrégés considèrent un individu moyen tandis que les modèles désagrégés isolent des groupes d'individus selon leurs caractéristiques propres. Les modèles normatifs et modèles de régression logistique sont deux exemples de modèles agrégés. Il existe de nombreuses méthodes pour les modèles désagrégés parmi lesquels on trouve les modèles de probabilité linéaire, les modèles probit, les modèles logit, etc.

#### I.1.4 Les modèles d'affectation

Il s'agit de la quatrième et dernière étape des modèles à quatre étapes. Cette étape intervient en effet après avoir calculé la matrice OD pour chaque mode considéré. Elle correspond à l'affectation de la demande de déplacements (le parcours d'une origine vers une destination) sur le réseau. C'est donc plus précisément l'itinéraire choisi par l'individu. L'itinéraire est décomposé en plusieurs étapes qui sont communément appelées des liens. En amont des modèles d'affectation, une étude descriptive du réseau doit être effectuée afin de pouvoir établir les coûts des liens (distance, charge, etc.).

Il existe deux grandes familles de modèles d'affectation : les modèles déterministes et les modèles stochastiques.

Les modèles déterministes considèrent que tous les individus perçoivent le coût d'un itinéraire de manière identique. Ces modèles sont appliqués à partir de deux types de méthodologies : les méthodes tout-ou-rien appelées méthodes de plus court chemin et les méthodes d'équilibre. Ces méthodes se distinguent à partir de la contrainte de capacité. En effet, alors que les méthodes de plus court chemin ne prennent pas en compte la capacité du lien et peuvent donc conduire à des surcharges donnant lieu à des phénomènes de congestion, les méthodes d'équilibre considèrent cette contrainte en calculant le coût de chaque lien en fonction de sa charge.

Les modèles probabilistes sont appliqués à partir de deux types de méthode : la méthode stochastique pure qui ne souffre d'aucune contrainte de capacité et la méthode d'équilibre avec utilité stochastique qui prend en compte cette contrainte.

Les modèles à quatre étapes permettent d'analyser la demande de transport à chacune de ses phases propres. La demande de transport, assimilée à des flux de mobilité, est au cœur d'analyses du système urbain telles que les modèles gravitaires ou les modèles issus de la théorie de la base évoqués précédemment. Ces modèles permettent ainsi de comprendre le système urbain grâce à l'utilisation de variables explicatives liées au transport. Les

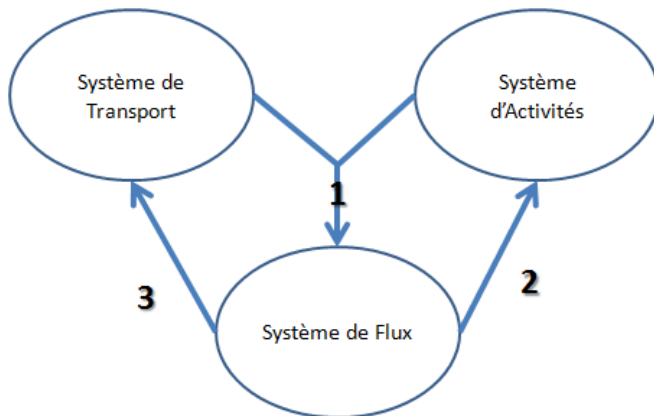
interactions entre le transport et l'urbanisme sont en effet très fortes et, dès les années 1970, les modèles Land Use and Transport Interaction ont connu un développement important, servant d'outils à la planification territoriale.

## **I.2 Les modèles LUTI : Land Use and Transport Interaction**

Au début du XXème siècle, un nouveau paradigme est apparu dans le domaine scientifique sous le nom de systémique. Théorisé en France par Von Bertalanffy (1950) et Le Moigne (1977), la systémique suggère de considérer chaque phénomène en interaction avec d'autres phénomènes, et tous, faisant parti d'un plus grand tout. Le Moigne définit ainsi un système comme un ensemble d'éléments en interaction tels que la modification de l'un d'eux entraîne la modification de tous les autres. L'approche systémique apparaît alors comme une solution pour dépasser les limites de l'approche analytique et ainsi pouvoir considérer le monde en général dans toute sa complexité (Cambien, 2010). La systémique a alors été introduite dans divers domaines scientifiques et également dans le domaine de l'urbanisme. Dans les années 1970, la modélisation urbaine avec une problématique sur les transports consistaient principalement à prévoir les déplacements intra et inter urbains afin de limiter les congestions et anticiper les besoins en infrastructures. Ces modèles, les modèles à quatre étapes (présentés précédemment), se concentrent donc sur la demande de déplacement. L'occupation et l'usage du sol ne sont pas considérés dans ces modèles. Face à ce manque, les modèles LUTI (Land Use and Transport Interaction) ont été développés et permettent ainsi d'analyser, en une approche systémique, les interactions entre transport et occupation et usage du sol.

Il est en effet nécessaire d'appréhender l'urbain par une approche systémique afin d'en visualiser toute la complexité (Cambien, 2010). Ainsi, De Rosnay définit la ville, en 1975, comme étant à la fois « *support et conséquence de l'activité de l'organisme social qui vit en son sein* ». La ville est donc indivisible de son appareil social : elle est en effet conçue à partir d'un mécanisme d'échanges d'énergies, d'informations, de travailleurs, de populations, etc. (Cambien, 2010). Les flux permettent donc de structurer la ville. Ainsi, Manheim, en 1979, en cherchant à décrire le système de déplacements, décompose son approche en trois sous systèmes : le système de transport, le système d'activités et le système de flux (Figure 3.3).

**Figure 3.3 : Conceptualisation du fonctionnement du système de transport selon Manheim**



Réalisation : F. Bénard, 2012

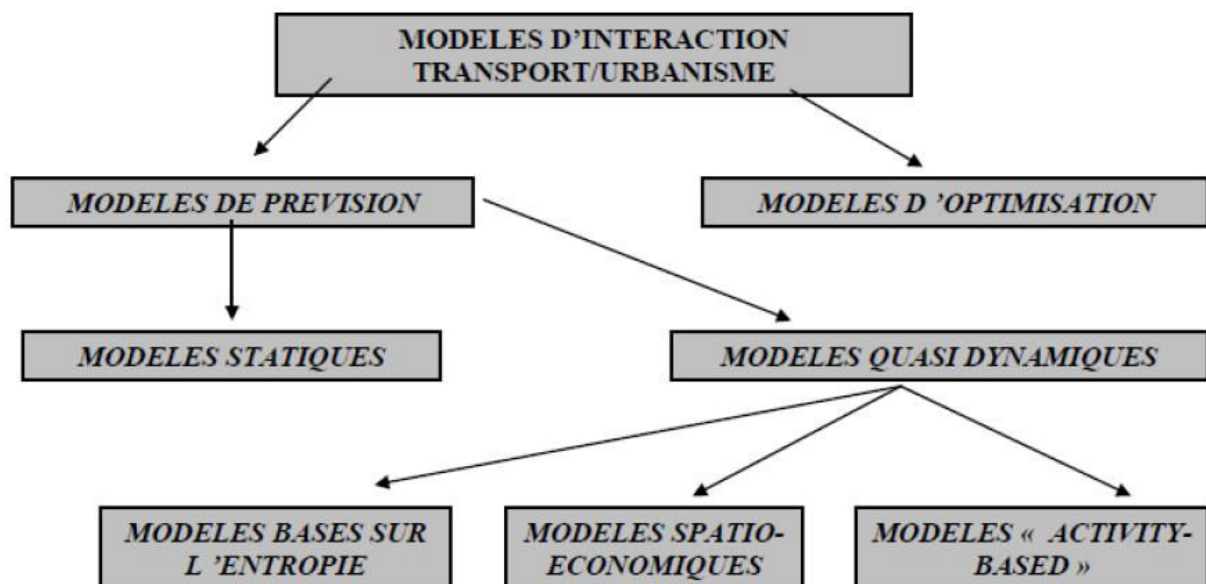
Manheim identifie trois types de relations entre les différents systèmes. La première relation qui prend origine au système d'activités et/ou au système de transport vers le système de flux signifie que ce dernier est conditionné à la fois par le système de transport et le système d'activités. Les relations 2 et 3 indiquent que, inversement, le système de flux peut également entraîner des modifications dans le système d'activités et le système de transport. Ainsi, système d'activités, qui selon Manheim comprend un certain nombre de sous-systèmes en interrelation –à savoir, logement, structure sociale, politique, ...-, et système de transport sont fondamentalement liés. Le transport joue en effet un rôle déterminant dans l'évolution du système d'activités. Sur la base de cette relation entre système de transport et système d'activités, Bonnafous et Puel proposent, en 1983, une approche systémique de la ville qu'ils considèrent comme l'imbrication de trois sous-systèmes : le système de localisation, qui renvoie à la question de l'utilisation des sols ; le système de déplacement, qui fait référence aux différents déplacements effectués dans la ville et le système de relations sociales, qui représente le mode de fonctionnement de la société. Ces trois sous-systèmes possèdent chacun leur propre logique de fonctionnement de d'évolution et sont reliés entre eux par des relations complexes de causalité (Masson, 2000).

En 1994, Wegener traduit le système urbain à partir de huit sous-systèmes, qu'il classe selon leur temporalité. Il distingue, en premier lieu, les sous-systèmes soumis à des changements très lents : il s'agit des sous-systèmes réseaux et occupation des sols. Il s'agit donc des voies de communication, de la distribution de l'occupation des sols : on s'intéresse à la partie physique du système urbain. Or, cette partie est soumise à des changements mais de façon résiduelle (Deymier et Nicolas, 2005). Dans un deuxième temps, Wegener distingue les sous-systèmes soumis à des changements lents : il s'agit des lieux d'emplois et des logements. On considère qu'ils sont soumis à des changements lents car les logements ont en général une durée de vie supérieure à un siècle et les lieux d'emplois ont également une durée de vie très importante (plus importante que les entreprises et institutions qui les occupent). Ensuite, il distingue les sous-systèmes soumis à des changements rapides, c'est-à-dire les systèmes emploi et population. En effet, la structure de l'emploi est très mouvante car les entreprises s'établissent, se ferment et se délocalisent, tandis que les populations font évoluer leur choix

de localisation en fonction de leur cycle de vie. Enfin, Wegener distingue les sous-systèmes soumis à des changements immédiats : il s'agit des biens transports et des déplacements. En effet la localisation des hommes et des activités sur le territoire génère des déplacements qui peuvent évoluer rapidement et s'adapter à des phénomènes de congestion par exemple.

La conceptualisation de la ville dans une approche systémique est donc indissociable des notions de transport et déplacement. C'est à partir de ce constat que ce sont développés les modèles transport-urbanisme. Appelés LUTI dans la littérature anglo-saxonne, c'est-à-dire Land Use and Transport Interaction, ces modèles ont connus un développement foisonnant depuis les années 1970. Ainsi, les modèles LUTI sont nombreux et très hétérogènes : on peut les distinguer selon les fondements théoriques sur lesquels ils s'appuient, selon les techniques de modélisation, selon la manière de représenter les variables, etc. (Homocianu, 2009). Ainsi, pour mieux appréhender ces modèles, une classification a été proposée par Simmonds et al. en 1999, qui divisent ainsi les modèles LUTI en deux grands groupes : les modèles d'optimisation et les modèles de prévision (Figure 3.4).

**Figure 3.4 : Classification des modèles LUTI selon Simmonds et al. 1999**



Source : Homocianu, 2009, p. 34

Les modèles d'optimisation ont pour objectif d'optimiser les configurations urbaines. Utilisés dans une perspective de planification à long terme, ils permettent généralement d'améliorer/corriger une certaine fonction urbaine. Ces modèles ne sont pas adaptés à la prévision des impacts des politiques de transport sur l'évolution de la structure urbaine, contrairement aux modèles de prévision.

Les modèles de prévision se décomposent en deux classes de modèles : les modèles statiques et les modèles quasi-dynamiques. Les modèles statiques s'appliquent à un moment donné dans l'espace temps tandis que les modèles quasi-dynamiques permettent des études sur plusieurs périodes et de marquer par exemple une évolution dans l'espace temps. On trouve

trois types de modèles quasi-dynamiques : les modèles basés sur l'entropie, les modèles spatio-économiques et les modèles basés sur l'activité.

### **Quelques exemples de modèles statiques**

Le modèle METROPOLIS, développé en 1964, constitue le premier modèle statique. Son objectif est double : d'une part, il s'agit d'évaluer les différents impacts des décisions publiques sur la forme métropolitaine, et d'autre part, il s'agit de prévoir les changements des formes métropolitaines au cours du temps. Ces changements s'opèrent en conséquence des évolutions de certaines variables : la structure des emplois basiques, l'efficacité du système de transport ou même la croissance de la population (Deymier et Nicolas, 2005). METROPOLIS réunit deux modèles d'interaction spatiale : un premier modèle de localisation résidentielle et un modèle de localisation de l'emploi industriel et de services. La dimension transport y intervient à travers les coûts de transport : le modèle considère en effet que la croissance urbaine est fonction de l'expansion du secteur basique industriel qui détermine ainsi la distribution spatiale de la population et de l'emploi dans le secteur des services, sous la contrainte des coûts de transports. L'une des principales critiques apportées au modèle réside dans son caractère statique. Ainsi, des modèles plus récents ont été développés dans les années 1990, à l'image du modèle DSCMOD en 1991 (Deymier et Nicolas, 2005). Le modèle DSCMOD constitue également un modèle statique. Développé par David Simmonds, il se base plutôt sur des modèles de transport et essaie d'y intégrer les problématiques d'occupation du sol. Le modèle s'applique généralement en Europe et a permis d'évaluer les impacts d'un certain nombre de réalisations de grande envergure tel que le tunnel sous la Manche. DSCMOD considère les modifications d'accessibilité suite à une modification du réseau de transport par exemple et en évalue les impacts en matière d'occupation du sol.

### **Quelques exemples de modèles quasi-dynamiques**

Le projet SIMBAD (Simulation des MoBilités pour une Agglomération Durable), développé en France par le LET (Laboratoire d'Economie des Transports) sur l'agglomération lyonnaise, est un modèle prospectif qui s'inscrit dans les modèles quasi-dynamiques (Homocianu, 2009). Le modèle permet de rendre compte des dimensions environnementales, économiques et sociales des trafics qui se réalisent au niveau du bassin de vie d'une agglomération. SIMBAD intègre ainsi les trois axes du développement durable afin d'évaluer les impacts de politiques à l'échelle de l'agglomération. Le modèle intègre des modèles d'urbanisme, notamment par l'utilisation de la plateforme URBANSIM<sup>18</sup>, et des modèles de transport, par l'utilisation des modèles à quatre étapes ainsi que le modèle FRETURB qui est un modèle de simulation des transports de marchandises (CERTU, 2012).

Le projet MOBISIM (SIMulation des MOBilités) se situe dans la même démarche prospective que le projet SIMBAD. Il s'intéresse ainsi aux mobilités quotidiennes et résidentielles dans les agglomérations françaises et européennes, et étudie leur lien avec le

---

<sup>18</sup> Modèle dynamique basé sur l'activité développé aux Etats-Unis en 1994 sur la métropole Eugène-Springfield. Le modèle lie la planification de l'espace aux transports et à l'environnement et permet ainsi de spécifier des politiques de développement et de comparer différents scénarios (HOMOCIANU, 2009).

développement urbain en considérant notamment l'étalement et l'aménagement urbains (Antoni, 2010). MOBISIM constitue un modèle multi-agents et multiscale pour simuler les mobilités urbaines. Il combine plusieurs modèles, dont un automate cellulaire et les modèles à quatre étapes (Antoni, 2010 ; CERTU, 2012).

Le modèle SIMAURIF est un modèle de simulation de l'interaction transport-urbanisme en Île de France. Modèle prospectif, il intègre, dans l'esprit de SIMBAD et MOBISIM, la combinaison de plusieurs modèles d'urbanisme basés sur la plateforme URBANSIM tels que des modèles de choix résidentiels, des modèles de localisation de l'emploi, des modèles de prix de l'immobilier, des modèles d'évolution des modes d'occupation du sol ; et des modèles de transport tels que les modèles à quatre étapes (CERTU, 2012).

Le modèle TRANUS, développé en 1982 TRANUS par De la Barra et Perez, est un modèle spatio-économique pouvant s'appliquer à l'échelle urbaine ou régionale. C'est un modèle spatial input/output, basé sur le principe de l'équilibre de l'offre et de la demande par les prix. Il poursuit deux objectifs : dans un premier temps simuler les effets probables des politiques d'urbanisation et des projets de transport, puis en évaluer les impacts sociaux, économiques et financiers. Le modèle distingue des modèles précédemment cités, par le fait qu'il intègre un vocabulaire plutôt propre à l'économie qu'au transport et à l'urbanisme (Deymier et Nicolas, 2005 ; CERTU, 2012). TRANUS est souvent comparé au modèle MEPLAN, développé en 1990 par Echenique et al., qui constitue également un modèle spatial input-output. En effet, le modèle, qui constitue plutôt une plateforme de simulation, étudie les interactions entre les activités (grâce à l'analyse input-output) pour en extraire la demande de transport. MEPLAN peut s'appliquer à différentes échelles : du village aux aires métropolitaines en passant par la ville (Deymier et Nicolas, 2005).

Les modèles LUTI sont nombreux et ont été développés dans le monde entier : en Amérique, Europe et Asie (Carte 3.1). La littérature liée aux projets SIMBAD, MOBISIM et SIMAURIF fournit un bon inventaire de la variété de ces modèles. Appliqués généralement à de grandes agglomérations (même si une application locale est disponible pour certains modèles), ces modèles paraissent peu adaptés au cas réunionnais qui intègre des contraintes spécifiques : petite taille démographique mais croissance importante, relief restreint et contraint, patrimoine culturel, ... Nous proposons ainsi dans la partie suivante de ce chapitre, une analyse des spécificités réunionnaises en termes de transport, par une analyse des modèles développés dans le chapitre 2 ciblée sur la dimension transport (accessibilité et structure du réseau routier).

**Carte 3.1 : Géographie et chronologie des modèles LUTI**



Source : Vincent Hely, Laboratoire THEMA, avril 2012

## **II. Application : l'interaction transport-urbanisme à la Réunion**

Les modèles présentés dans le chapitre précédent ont permis de mettre en évidence deux formes distinctes d'étalement urbain à la Réunion et, à travers ces formes, un impact déterminant de la dimension transport représentée par les temps d'accès et la localisation des infrastructures. Pour l'aire urbaine de Saint-Denis, l'utilisation du modèle de Bussière pour représenter la population cumulée fait clairement apparaître l'importance du facteur temps d'accès dans la répartition de la population sur le territoire. Pour l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port et l'aire urbaine de Saint-Pierre, la courbe de population cumulée en fonction des

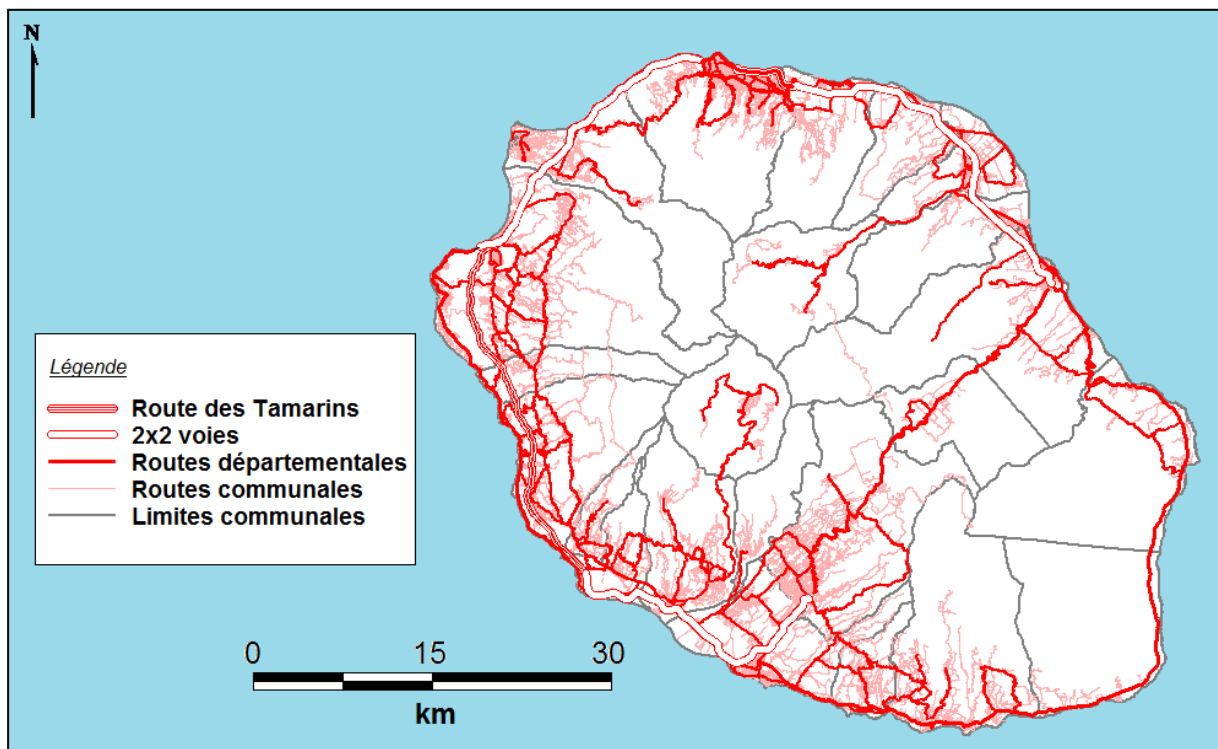


temps d'accès adopte une forme linéaire, ce qui souligne, outre l'impact du facteur temps d'accès, l'importance du réseau routier. Dans quelle mesure la dimension transport joue-t-elle un rôle distinct dans l'organisation urbaine des trois aires étudiées ? Cette partie s'attache à présenter l'impact de la dimension transport dans la répartition de la population sur le territoire. Après une présentation globale du réseau routier réunionnais, les modèles mis en place dans le chapitre 2 sont repris afin d'étudier le cas de chaque aire urbaine.

## II.1 Qualification du réseau routier réunionnais

L'urbanisation de l'Île de la Réunion est fortement dépendante du facteur géographique. En effet, le relief pentu limite les possibilités et entraîne de fortes contraintes d'adaptation. Le réseau de transport est composé essentiellement du réseau routier avec des voies mixtes : il existe en effet peu de voies dédiées. Les transports en commun (bus) sont alors tributaires des mêmes contraintes de congestion que la voiture particulière. Le réseau routier réunionnais est composé essentiellement de voirie communale avec, en 2008, 4 407 km de route communale, 720 km de routes départementales et 367 km de routes nationales (données Agorah, 2012). Les routes nationales longent le littoral sur la totalité de l'Île et pénètrent le centre en reliant le Sud-ouest à l'Est par la Plaine des Palmistes en passant par Le Tampon. Pour une longueur totale de 367 km dont 90 km de 2x2 voies limitées en vitesse à 90 et 110 km/h. La carte 3.2 permet de visualiser l'organisation spatiale du réseau routier réunionnais.

Carte 3.2 : Le réseau routier réunionnais



Source : fond communal INSEE, Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Le réseau routier est donc principalement composé de routes communales dont les vitesses maximales sont de 90 km/h. Le réseau est « inégalement » réparti sur le territoire en termes de voies rapides. En effet, la zone Nord bénéficie de plus de 2X2 voies. La répartition des routes par aire urbaine est indiquée dans le tableau 3.1. Ainsi, nous pouvons observer que l'aire urbaine de Saint-Denis est moins dotée que les aires urbaines de Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre en termes de kilomètres, mais bénéficie malgré tout de plus de voies rapides (2x2 voies) pour une superficie moins grande : 289 km<sup>2</sup> contre 419 km<sup>2</sup> pour Saint-Paul-Le Port et 364 km<sup>2</sup> pour Saint-Pierre. Inversement, nous constatons que le réseau routier est plus « dense » à Saint-Pierre mais il est constitué à 85% de voies communales, limitées à 30, 50 et 70 km/h.

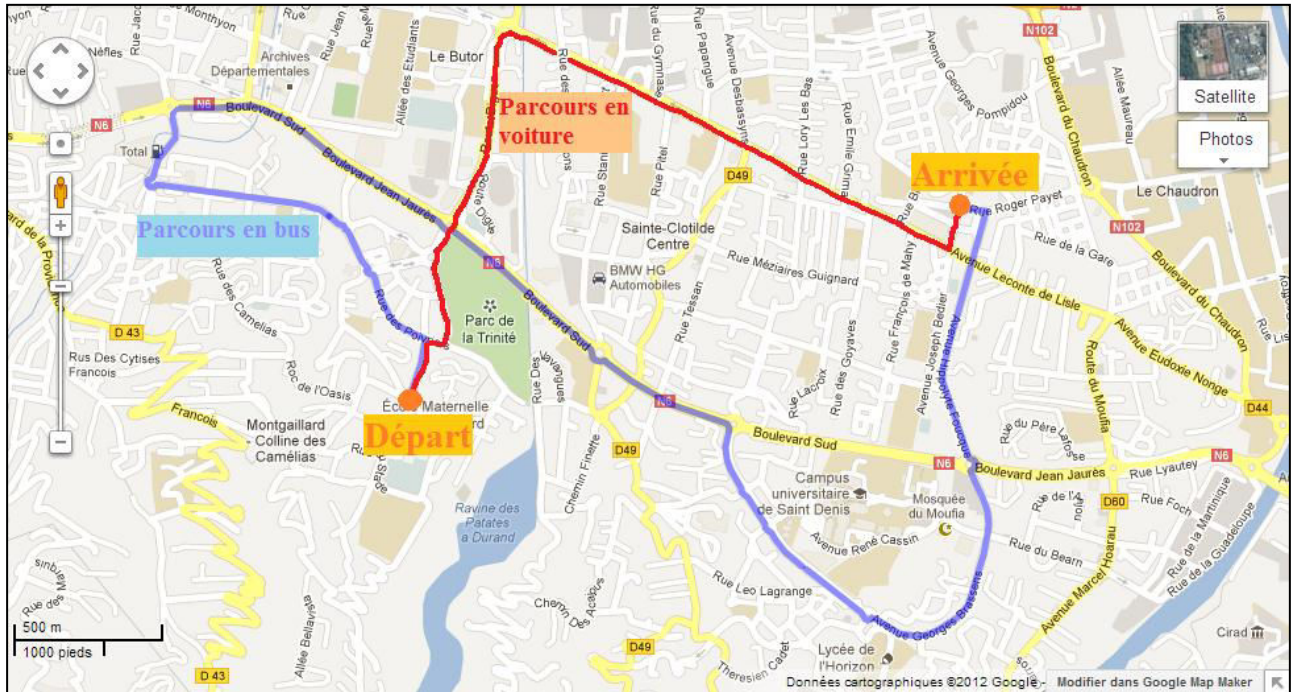
**Tableau 3.1 : Répartition du réseau routier dans les trois principales aires urbaines**

	<b>Saint Denis</b>	<b>Saint-Paul-Le Port</b>	<b>Saint-Pierre</b>
<b>Routes nationales (km)</b>	47	38	49
<i>Dont 2x2voies (km)</i>	29	18	15
<b>Routes départementales (km)</b>	132	158	136
<b>Routes communales (km)</b>	776	872	1074
<b>TOTAL</b>	<b>955</b>	<b>1068</b>	<b>1259</b>

Calculs, Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

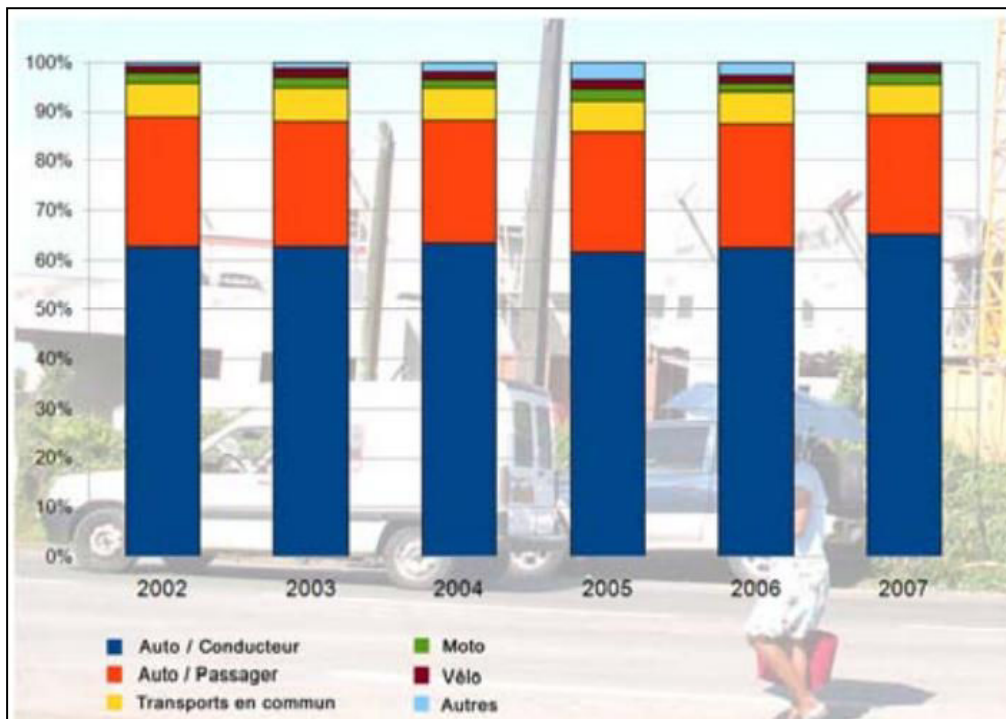
Le réseau de transport en commun à la Réunion est peu développé et n'est constitué que de bus. Globalement, le réseau inter-urbain est géré par le Conseil Général tandis que les réseaux intra-urbains sont gérés par chaque communauté de communes. Nous ne souhaitons pas développer la description du réseau de transport en commun. En effet, le réseau bénéficiant de peu de voies dédiées, les transports en commun à la Réunion sont très peu compétitifs. La carte ci-dessous permet de comparer l'exemple d'un même couple origine-destination, l'un parcouru en bus et l'autre, en voiture. L'itinéraire se localise dans l'une des parties les mieux dotées en transport en commun dans l'Île avec de nombreuses lignes à des fréquences rapprochées (un bus toutes les douze minutes environ). La destination identifiée correspond à l'IRIS centre de Saint-Denis dénommé Michel Debré- Mairie du Chaudron. Le trajet en voiture, représenté en rouge sur la carte, s'effectue en 8 minutes pour une distance de 3,3 km tandis que le trajet en bus, représenté en bleu, s'effectue à une heure de pointe du matin, en 33 minutes de route, 2 changements de bus et 31 minutes d'attente estimée entre chaque bus. Ainsi, pour un trajet de 6,6 km, le parcours en bus se fait donc en plus d'une heure et ce, sans imprévu (congestion inhabituelle, évènement extraordinaire, etc.). Face à ce manque de compétitivité, nous choisissons de ne considérer qu'un seul mode de déplacement : la voiture particulière. La voiture particulière est d'ailleurs le mode de transport préféré des réunionnais (Figure 3.5).

### Carte 3.3 : Itinéraire comparé pour un trajet en voiture particulière et un trajet en bus dans l'aire urbaine de Saint-Denis



Source : GoogleMaps 2012, Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Figure 3.5 : Répartition des modes de déplacements à La Réunion, de 2002 à 2007



Source : Agorah, 2010, Résultats d'une enquête réalisée en partenariat avec l'institut IPSOS, sur une population annuelle de 9 000 individus enquêtés par téléphone sur les déplacements effectués la veille de l'enquête

## II.2 Le choix entre temps d'accès et distance kilométrique

Les modèles développés dans le chapitre 2 intègre une notion de distance que nous avons choisi de transposer en termes de temps d'accès. En effet, le modèle de Bussière par exemple, tel qu'il a été élaboré en premier lieu, permet de calculer la population cumulée d'un IRIS  $i$  à partir de la distance entre cet IRIS et le centre  $j$ . Nous rappelons ci-après la formulation déjà présentée dans le chapitre 2 :

$$P_i(x_{i,j}) = \frac{2A\pi}{b^2} [1 - (1 + bx_{i,j})e^{-bx_{i,j}}] \quad (3.1)$$

Le modèle amendé ajoute un terme linéaire à l'équation initiale et se formule alors :

$$P_i(x_{i,j}) = \frac{2A\pi}{b^2} [1 - (1 + bx_{i,j})e^{-bx_{i,j}}] + Kx_{i,j} \quad (3.2)$$

La méthode de résolution de l'équation (3.1) et (3.2) consiste à procéder par itération pour faire apparaître les valeurs optimales de  $A$ ,  $b$  (et  $K$  pour l'équation 3.2) minimisant la somme des carrés des résidus entre la courbe empirique et la courbe théorique. Le paramètre  $P_i$ , soit la population cumulée à l'IRIS  $i$ , est calculé à partir de la base de données IRIS de l'INSEE. Enfin, le paramètre  $x$  représente la distance entre l'IRIS  $i$  et le centre  $j$ .

La notion de distance peut être perçue sous plusieurs angles. Ainsi, dans notre analyse, trois possibilités ont été envisagées : la distance kilométrique radiale, soit la distance à vol d'oiseau ; la distance kilométrique de parcours du réseau et les temps d'accès au centre c'est-à-dire les temps de parcours du réseau en minutes. Les modèles ont été testés en considérant ces trois « types » de distance, bien que les temps d'accès aient finalement été retenus.

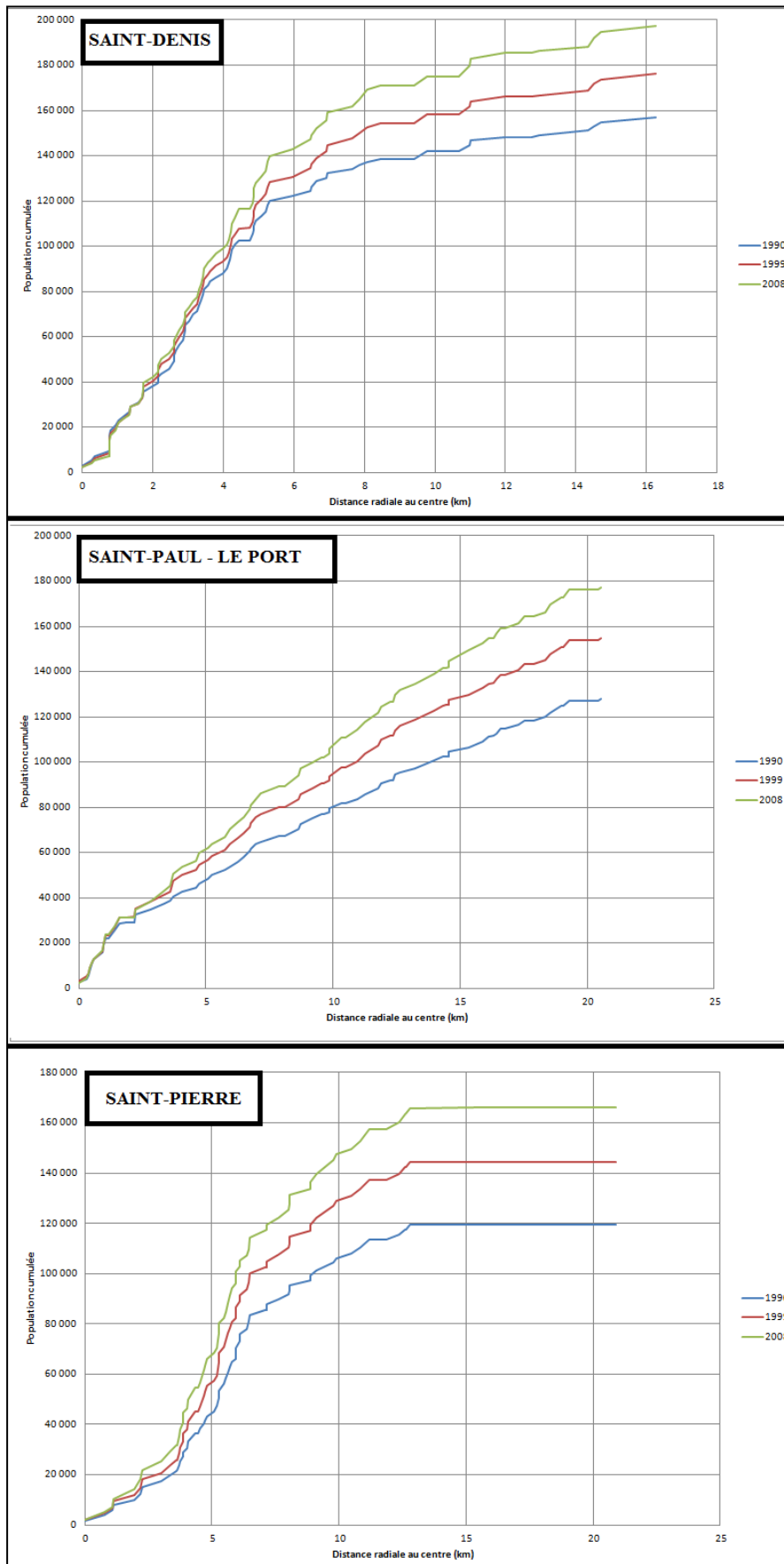
### La distance à vol d'oiseau

L'application du modèle de Bussière en considérant la distance radiale permet de comprendre l'étendue des surfaces des aires urbaines étudiées. En effet, l'aire urbaine de Saint-Denis s'étend sur un rayon de 16 km, l'aire urbaine du Port s'étend sur un rayon de 20 km et l'aire urbaine de Saint-Pierre sur un rayon de 23 km. Il s'agit donc d'espaces relativement petits. Le profil des courbes de population cumulée indique pour Saint-Denis et Saint-Pierre une configuration qui semble conforme au modèle de Bussière, tandis que l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port affiche une courbe de population cumulée plutôt linéaire (Figure 6).

Le modèle de Bussière s'adapte au cas de Saint-Denis et Saint-Pierre. Appliqué à l'aire urbaine de Saint-Denis en considérant la distance radiale au centre, le modèle offre des résultats assez corrects : on obtient en effet, sur les données de population de 1990, 1999 et 2008 par exemple, des coefficients de détermination de 0.99 pour le modèle de Bussière et le modèle amendé. La valeur du gradient de densité varie entre 0.4 et 0.5, ce qui indique la présence d'étalement urbain mais dans un espace restreint. Dans le cas de Saint-Pierre, les résultats sont également robustes : de bons coefficients de détermination (0.99) pour le

modèle de Bussière tandis que le modèle amendé n'offre aucune amélioration au modèle de Bussière ( $K = 0$ ). Dans le cas de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, le choix du modèle de Bussière semble non adéquat. En effet, la courbe de population cumulée en fonction de la distance radiale au centre adopte une forme linéaire en deux temps qui permet de distinguer deux zones : une zone centre situé dans un rayon de 2 km autour de l'IRIS centre et une couronne périurbaine au delà de 2 km. La modélisation des courbes à travers une double régression linéaire produit des coefficients de détermination de 0.97 en moyenne pour la zone-centre et 0.99 pour la couronne (résultats 1990, 1999 et 2008). La figure 3.6 permet de visualiser l'apparence des courbes empiriques des populations cumulées des trois aires urbaines sur les trois années étudiées (1990, 1999, 2008). On remarque que la forme des courbes reste globalement conforme aux modèles mis en place sur les populations cumulées en fonction des temps d'accès pour Saint-Denis et Saint-Paul- Le Port tandis que le cas de Saint-Pierre diverge : la population cumulée en fonction des temps d'accès admet une forme linéaire tandis que la forme est de type Bussière lors de la prise en compte de la distance radiale.

**Figure 3.6 : Courbes de population cumulée en fonction de la distance radiale au centre**



Source : données INSEE 1990, 1999, 2008, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Ces résultats ont permis de donner une première impression sur le phénomène d'étalement à La Réunion. Néanmoins, la prise en compte de la distance radiale induit que l'on considère l'espace comme une plaine homogène. Or, les fortes contraintes de relief que subit l'Île de la Réunion réfutent cette hypothèse : la distance radiale ne peut fidèlement traduire la réalité des aires urbaines réunionnaises. Ainsi, il semble plus judicieux de calculer la distance en fonction du réseau de transport afin de donner un aperçu plus transparent de la réalité.

### **La distance de parcours du réseau ou les temps d'accès**

La prise en compte du réseau de transport permet deux approches : une approche en distance et une approche en temps d'accès. Les deux approches s'appuient sur l'interface GoogleMaps. En effet, à partir des coordonnées de chaque centroïde en format Degré, Minute, Seconde, l'interface GoogleMaps énumère les différents itinéraires possibles en calculant la distance de parcours et le temps de parcours. La méthodologie consiste donc au calcul préalable des coordonnées des centroïde, puis à calculer un à un, à partir de GoogleMaps, les chemins les plus courts en distance et les chemins les plus courts en minutes de chaque IRIS vers l'IRIS centre. La méthodologie précise utilisée par GoogleMaps n'est pas publique mais il s'agit assez clairement d'un modèle d'affectation déterministe (quatrième étape du modèle à quatre étapes, cf. I.1). Nous supposons une combinaison des méthodes tout-ou-rien et des méthodes d'équilibre. En effet, nous constatons que le chemin le plus court en termes de distance kilométrique n'est pas systématiquement le plus court en termes de temps (le type de route est apparemment considéré pour le temps de parcours). Ainsi la méthode tout-ou-rien semble être appliquée pour la distance kilométrique tandis que la méthode d'équilibre est appliquée pour les temps de parcours.

Le choix entre distance kilométrique et temps d'accès est un choix déterminant dans notre étude. En effet, considérant un réseau de transport très disparate et inégal selon les aires urbaines, les temps d'accès devraient permettre de mieux situer la réalité. En considérant le chemin le plus court en termes de kilomètres, aucune contrainte de réseau n'est prise en compte. Ainsi, 10 kilomètres parcourus sur une 2X2 voies limitée à 110 km/h et 10 kilomètres parcourus en agglomération, soit une portion de route limitée à 50 km/h, sont considérés de manière identique. Cette lacune est corrigée par la considération des temps d'accès : le chemin le plus court en termes de temps de parcours intègre en effet le type de route dans son calcul. C'est donc sur la base de temps d'accès au centre que la dimension transport a été introduite dans notre analyse. Ce choix permet d'ailleurs d'éprouver l'efficacité du réseau de transport de chaque aire urbaine.

## **II.3 Saint-Denis : des temps d'accès structurants**

La répartition spatiale de la population de l'aire urbaine de Saint-Denis est déterminée par les temps d'accès. En effet, le modèle de Bussière calibré au cas dionysien dans le chapitre 2 a permis de mettre en évidence des coefficients de détermination proche de 1 et validant ainsi l'influence des temps d'accès sur la répartition de la population. Le chapitre 2 a permis de

mettre en évidence que le modèle amendé n'est pas adapté à la description de l'aire urbaine de Saint-Denis. En effet, le territoire de Saint-Denis est limité par le contexte physique (mer et montagne), ce qui explique qu'au-delà d'une certaine distance, il n'y a plus de population additionnelle. Lors du calibrage du modèle amendé, on obtient ainsi des valeurs de  $A$  et  $b$  similaires au modèle normal, tandis que l'on obtient une valeur nulle de  $K$ . Le paramètre  $K$  ajouté par Bonnafous et Tabourin (1996) pour apporter un terme linéaire à l'équation initiale de Bussière, a pour but d'illustrer l'amélioration des conditions de transport dans les années 1980-1990, qui a permis de réduire la distance au centre ou plus précisément les temps de déplacements. Le paramètre  $K$  renvoie en effet à la dotation en infrastructures de transport et notamment de type autoroutier (Péguy, 2000). Le paramètre  $K$  représente ainsi la croissance accélérée de l'étalement urbain, la facilité de sortie de la ville (Mignot et al., 2004). Ainsi, une augmentation du paramètre  $K$  en général reflète l'étalement urbain. Au regard de ces informations concernant le paramètre  $K$ , il semble donc que les conditions de transport dans l'aire urbaine de Saint-Denis aient peu évolué entre 1990 et 2008. Globalement, le réseau routier est resté le même. On note en effet quelques changements sur le réseau telle que l'ouverture du boulevard Sud (ou boulevard Jean Jaurès), sorte de rocade semi-périphérique parallèle au boulevard Lancastel déjà existant le long du littoral de la commune de Saint-Denis. Néanmoins, ces petites améliorations au réseau n'apportent aucun changement structurant dans l'organisation globale.

Concentrons-nous sur les résultats de l'application du modèle de Bussière. A partir de l'équation initiale (2.9), nous obtenons les équations suivantes :

$$P_{1990}(x) = \frac{2*616.87\pi}{0.16^2} [1 - (1 + 0.16x)e^{-0.16x}] \quad (\text{éq. 3.3})$$

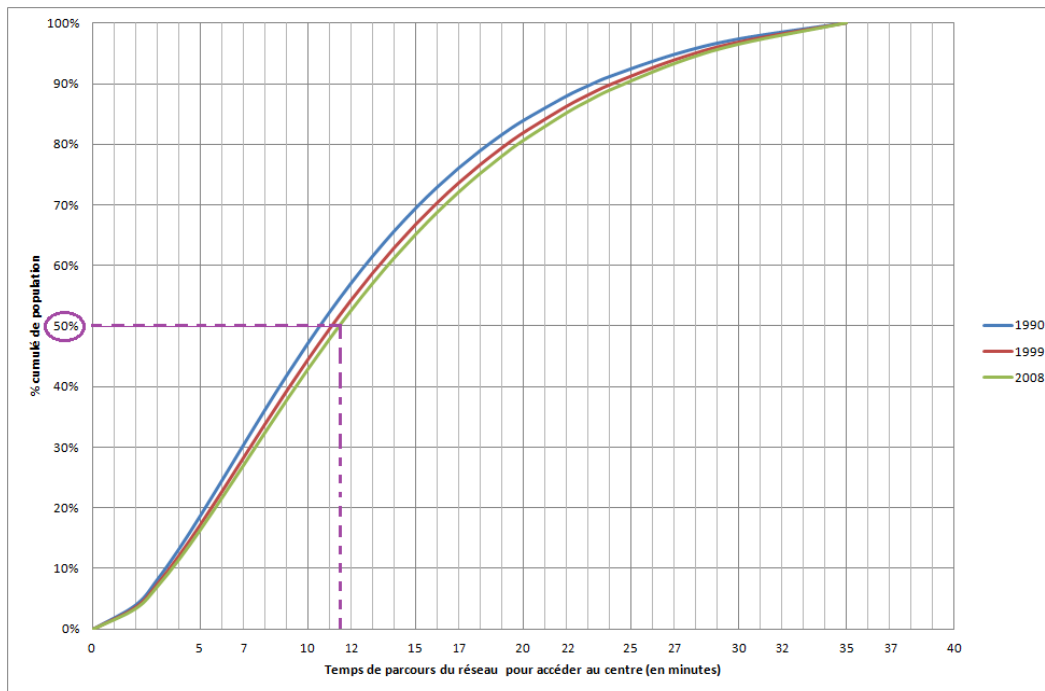
$$P_{1999}(x) = \frac{2*621.04\pi}{0.15^2} [1 - (1 + 0.15x)e^{-0.15x}] \quad (\text{éq. 3.4})$$

$$P_{2008}(x) = \frac{2*650.01\pi}{0.14^2} [1 - (1 + 0.14x)e^{-0.14x}] \quad (\text{éq.3.5})$$

Les valeurs de  $A$  et  $b$  étant fixes, le paramètre  $x$  est donc la seule variable explicative du modèle. Ainsi, les temps d'accès au centre, déterminent la répartition de la population sur le territoire de l'aire urbaine de Saint-Denis. Graphiquement, on obtient les courbes de la figure 8. Concrètement, nous constatons que 50% de la population vit à moins de 11 minutes du centre en 1990 et 1999 et à moins de 12 minutes du centre en 2008 (Figure 3.7). Ce décalage d'une minute indique une certaine accélération du phénomène d'étalement urbain entre 1990 et 2008. La carte 4 permet de visualiser les IRIS qui contiennent 50% de la population sur 32.05 km<sup>2</sup>, soit sur 18.7% du territoire étudié et 11,1% du territoire entier de l'aire urbaine de Saint-Denis. Le réseau routier principal n'est pas particulièrement dense : néanmoins, on constate une bonne correspondance entre les zones situées entre 2 et 12 minutes du centre et le tracé des routes nationales. En effet, outre la 2x2 voies en direction de Sainte-Marie, le réseau routier national se décompose, au sein de la commune de Saint-Denis, en deux rocades périphériques permettant une bonne accessibilité dans la zone (Carte 3.). D'ailleurs, l'aire urbaine de Saint-Denis est la mieux dotée en routes nationales qui constituent les voies rapides de La Réunion. En effet, avec 47 km de voirie nationale dont 62% de 2X2 voies, le réseau routier dionysien positionne l'aire urbaine de Saint-Denis en tant qu'espace ayant le réseau le plus développé à La Réunion.

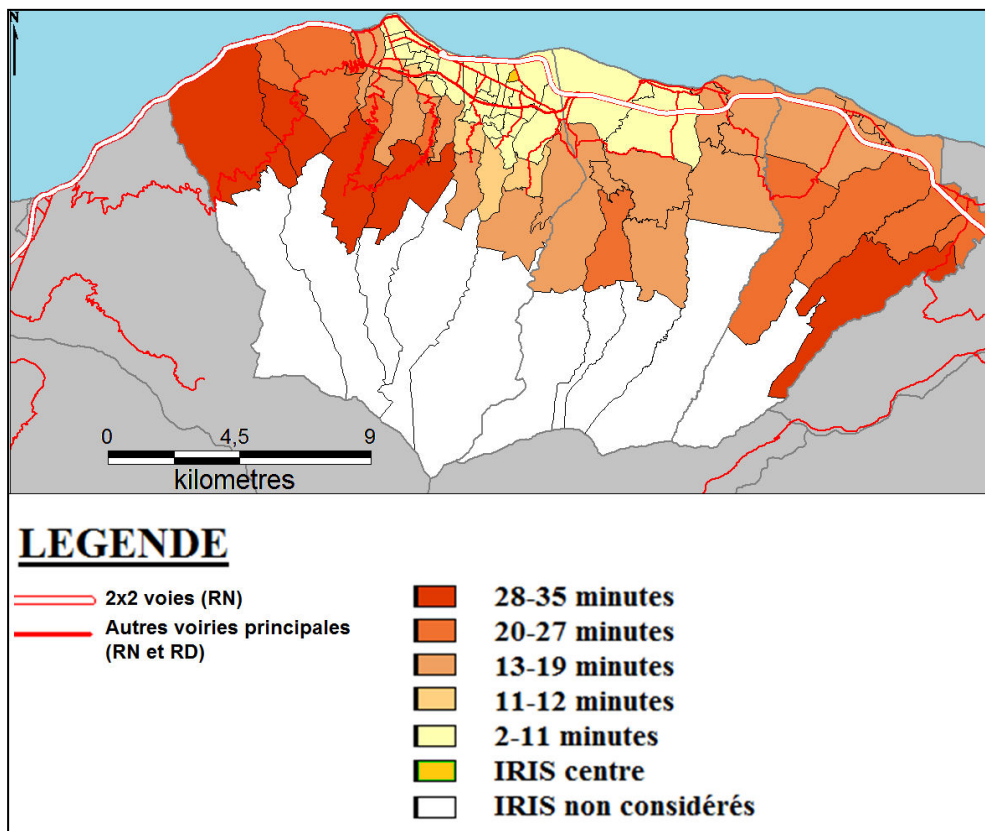


**Figure 3.7 : Courbes de population cumulée selon l'application du modèle de Bussière à Saint-Denis (en %)**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

**Carte 3.4 : Temps d'accès au centre et réseau routier principal, Aire urbaine de Saint-Denis**



Source : IRIS INSEE 2008, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

L'impact de la dimension transport dans la répartition de la population sur le territoire dionysien peut être résumé en plusieurs points. Dans un premier temps, on remarque que le territoire est constitué d'un réseau routier dense. Probablement du fait de son statut de capitale de l'Île, l'aire urbaine de Saint-Denis -et plus particulièrement la commune de Saint-Denis - est la mieux dotée en termes de voies rapides ce qui permet des temps d'accès moindres. Le territoire peut alors être vu comme étant isotrope, conformément aux hypothèses formulées par Von Thünen et dont s'inspire le modèle de Bussière. Une seconde remarque peut être faite à partir du calibrage des modèles. En effet, le modèle amendé ne pouvant être calibré, et au regard de la signification du terme  $K$  apporté par le modèle amendé, nous pouvons conclure à un réseau routier qui a peu évolué entre 1990 et 2008, notamment en raison des contraintes physiques évoquées dans le chapitre 2. Enfin, nous avons observé une inégalité de répartition de la population sur le territoire avec la moitié de la population résidant à moins de 12 minutes du centre, soit 11% du territoire global de l'aire urbaine.

## **II.4 Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre : les routes au cœur du développement urbain**

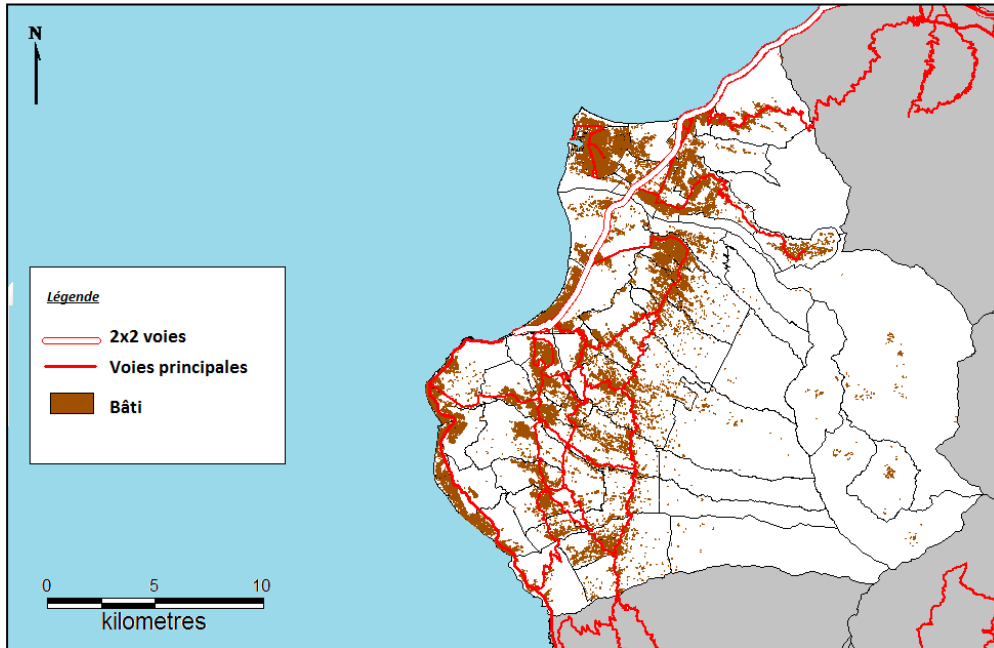
Les cas des aires urbaines de Saint-Paul-Le Port et de Saint-Pierre sont assez similaires, même si le choix du modèle a été moins évident pour Saint-Pierre. Dans les deux cas, on observe en effet des courbes de population cumulées empiriques en fonction des temps d'accès adoptant une forme linéaire en deux temps : une zone centre et une zone périphérique, la couronne périurbaine. La comparaison des résultats fait apparaître un phénomène d'étalement urbain plus avancé dans l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port. En effet, le centre de Saint-Paul-Le Port s'étend sur un rayon de 16 minutes contre seulement 10 pour Saint-Pierre. Néanmoins, cet étalement semble suivre les mêmes tendances dans chacune des aires urbaines. Alors que le réseau routier est moins développé que celui de Saint-Denis, en termes de voies rapides notamment, ce même réseau semble conditionner la répartition de la population et du bâti.

### **Le cas de Saint-Paul**

La description de la répartition de la population sur le territoire de Saint-Paul- Le Port se fait à partir d'une double régression linéaire qui permet d'apporter deux conclusions sur la dimension transport. Dans un premier temps, on obtient des ajustements robustes avec des coefficients de détermination forts (Chapitre 2) qui indiquent que les temps d'accès sont effectivement déterminants dans la répartition de la population sur le territoire. Le modèle permet de distinguer une zone centre-ville qui s'étend sur un rayon de 16 minutes autour du centroïde de l'IRIS centre, et une couronne périurbaine qui se situe au-delà de 16 minutes. Une cassure est même observée puisqu'on ne trouve aucune population additionnelle entre 16 et 19 minutes. Le développement de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port semble donc se faire non pas de manière discontinue, mais plutôt avec une différence d'intensité (Carte 3.5) ; c'est d'ailleurs pour cette raison que le qualificatif d'étalement en saut de mouton est peu adapté à

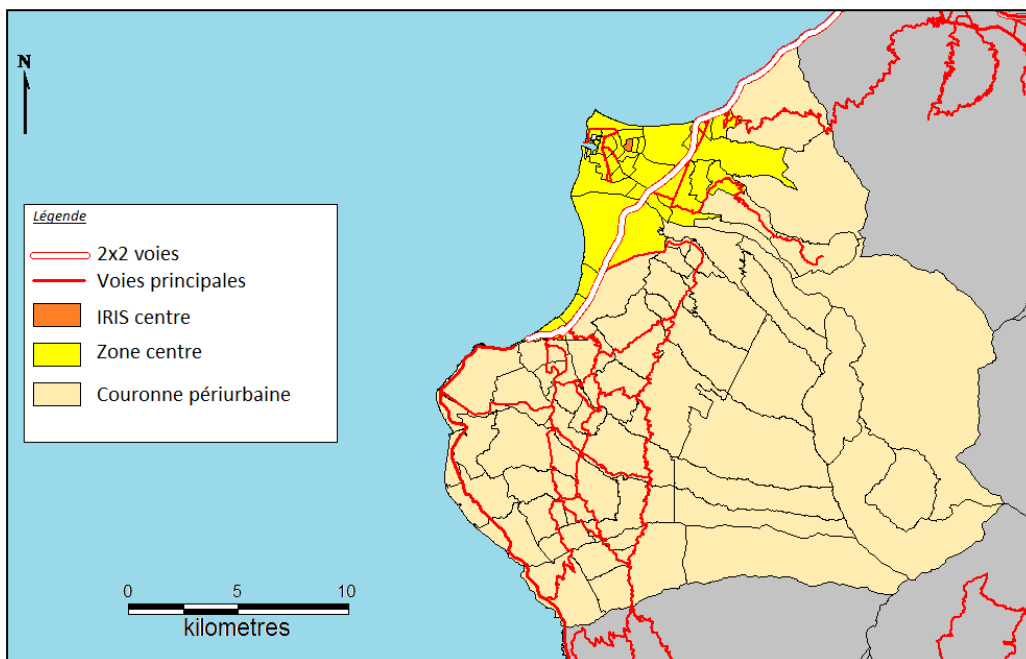
décrire la réalité saint-pauloise. Concrètement la cassure existe à cause de la présence de la 2X2 voies. La carte 3.6 ci-après permet de distinguer les IRIS appartenant à la zone centre des IRIS appartenant à la couronne périurbaine. On remarque que la fin de la 2x2 voies coïncide avec le « début » de la couronne périurbaine. Seul un IRIS fait exception : situé du côté Nord, il concorde avec le début de la route du littoral et correspond ainsi à une zone montagneuse.

**Carte 3.5 : Localisation du bâti et principales voies de communication dans l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port (idem carte 2.23)**



Source : IGN, INSEE, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

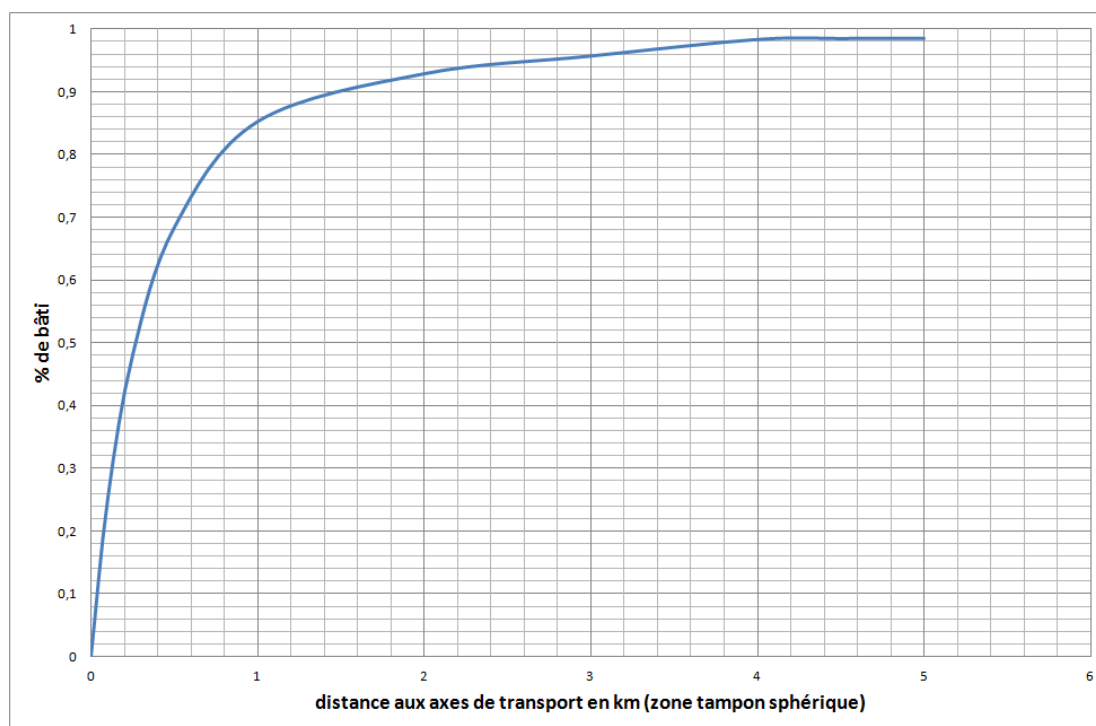
**Carte 3.6 : Réseau routier principal et identification des zones (centre et périphérie) de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



Source : IGN, INSEE, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Les coefficients de détermination enregistrés pour les régressions effectuées sur les données 1990, 1999 et 2008 avoisinent les 0,99 pour la zone centre et 0,97 pour la couronne périurbaine. Ces coefficients sont jugés robustes et valident ainsi l'impact des temps d'accès sur la répartition de la population sur le territoire de l'aire urbaine. On remarque néanmoins une différence entre le centre et la couronne. En effet, une analyse de la valeur des pentes permet de constater une pente plus raide en couronne. Ainsi, les variations du temps d'accès ont plus d'impact sur la répartition de la population en couronne que dans la zone centre. Cela s'explique aisément par le réseau routier en place : la zone centre, qui s'étend sur un rayon de 16 minutes autour de l'IRIS centre, est parcourue du Nord au Sud par une 2x2 voies à 110 km/h. Cette 2x2 voies permet de réduire les temps d'accès sur la zone entière : la localisation de la population dans tel ou tel IRIS de la zone centre semble donc indifférente. En couronne, peu d'IRIS se situent à proximité de la 2x2 voies : on remarque ainsi que le bâti suit scrupuleusement la route nationale et les routes départementales (Carte 3.6). En effet, l'éloignement à ces axes principaux signifie la nécessité d'emprunter des voies départementales et communales limitées entre 30 et 90 km/h, ce qui entraîne une augmentation considérable des temps d'accès. En appliquant des zones tampon autour des axes routiers principaux, on observe, en 2008, que 25% du bâti se positionne dans une zone tampon de 0,5 km autour des axes des routes nationales. La même méthode utilisée pour les routes départementales fait apparaître que 68% du bâti, en 2008, se positionne à moins de 0,5 km des axes routiers, tandis que 93% se positionne à moins de 2 km. La représentation de la répartition du bâti autour des axes routiers peut se traduire sous la forme suivante logarithmique. En effet, la courbe de répartition est la suivante :

**Figure 3.8 : Répartition du bâti (en%) autour des axes de transport, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

On constate ainsi que 85% du bâti se répartit dans un rayon de 1 km autour des axes principaux de transport et 25% à moins de 100 mètres. Cette répartition indique bien l'effet structurant des axes de transport. L'héritage du colonialisme est encore visible en 2008 dans le développement de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port. En effet, la structure linéaire du développement urbain est représentative du « village-rue », configuration urbaine centrée sur les axes de transport (Lajoie, 2007). Néanmoins, alors que ce type de développement est très peu propice à la formation de centralité (Lajoie, 2007, Jauze, 2007), l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port constitue un bon exemple de monocentrisme. La structure viaire de la ville du Port qui constitue le centre de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port permet d'expliquer cette centralité indéniable : en effet la ville suit un plan en damiers favorisant l'émergence de centralités (Jauze, 2007).

En résumé, l'étalement urbain de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port est conditionné par la localisation des axes de transport : on constate en effet une faible dispersion du bâti autour des axes de transport. Cela se traduit par la traduction linéaire de la courbe de population cumulée en fonction des temps d'accès au centre<sup>19</sup>. L'aire urbaine est représentative de la notion de village-rue, où un axe routier principal structure l'organisation urbaine.

### **Le cas de Saint-Pierre**

L'aire urbaine de Saint-Pierre est la moins aisée à décrire. En effet, les hypothèses initiales ne permettent une qualité d'ajustement acceptable en termes de coefficient de détermination et d'apparence des courbes de populations cumulées. L'aire urbaine de Saint-Pierre a donc nécessité une approche différente sur deux points : l'identification du centre et l'hypothèse d'une organisation monocentrique. En effet, l'observation empirique de la répartition du bâti 2008 permet d'identifier plusieurs « foyers de peuplement » répartis de manière discontinue sur le territoire. Ces foyers trouvent leur point commun grâce au réseau routier, en un IRIS particulier (ZAC Bank-La Charité) qui constitue un carrefour au sein de l'aire urbaine, une sorte de répartiteur vers les différents foyers. Cette configuration spécifique permet de distinguer deux approches possibles pour décrire la répartition de la population sur le territoire :

- Une approche monocentrique en considérant comme centre non pas l'IRIS le plus dense (hypothèse initiale) mais l'IRIS ZAC Bank-La Charité qui est le second IRIS le plus dense de l'aire urbaine.
- Une approche polycentrique en considérant les différents foyers de peuplement en tant que centres.

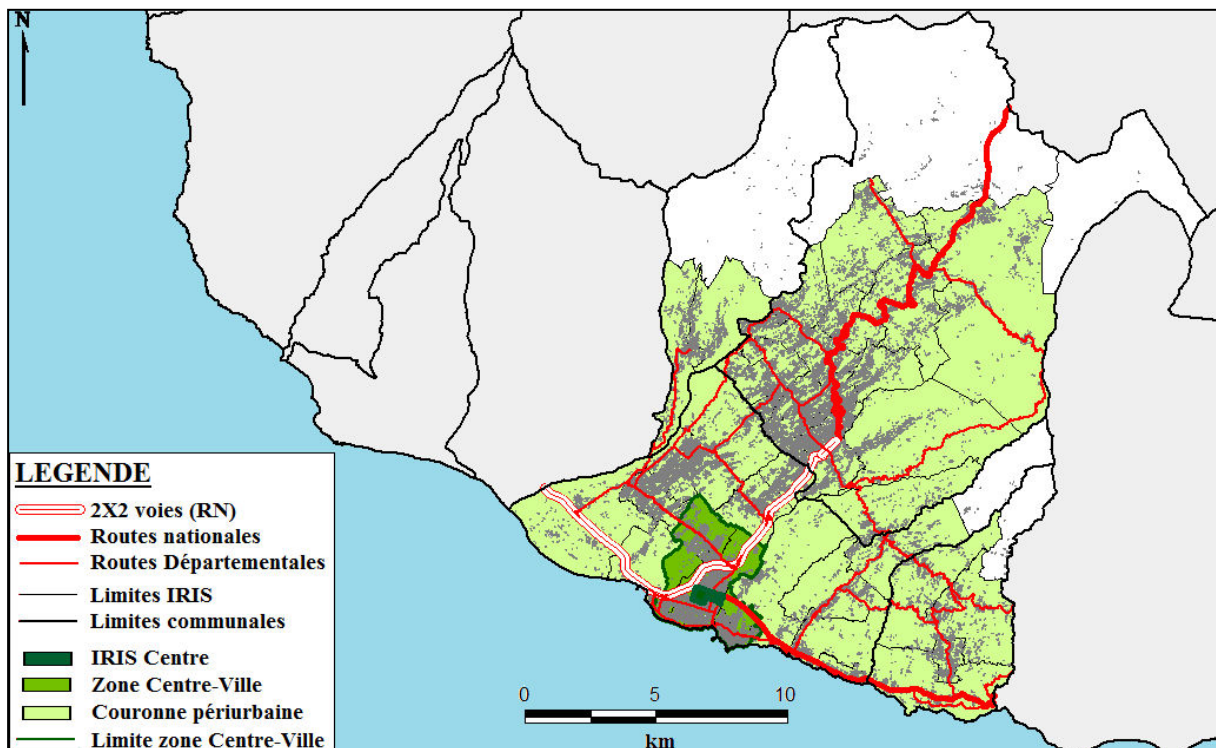
Bien que l'approche polycentrique ait fourni des résultats corrects (cf. Chapitre 2), l'approche monocentrique se distingue par une qualité d'ajustement excellente lors de l'application d'une double régression linéaire (cf. Chapitre 2). Ainsi, à l'instar de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port, l'aire urbaine de Saint-Pierre permet de distinguer deux zones autour de l'IRIS centre :

---

<sup>1919</sup> La prise en compte des distances kilométriques (radiales ou parcours du réseau routier) génère des courbes linéaires également.

une zone centre se situant dans un rayon de 10 minutes autour du centre et une couronne périurbaine au-delà de 10 minutes. Le centre-ville comprend d'ailleurs les différents IRIS envisagés en tant que centre (cf. Chapitre 2). L'analyse de la valeur des pentes de la régression fait apparaître, de manière similaire à l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, des pentes plus élevées en couronne qu'en centre-ville. Cela signifie que les temps d'accès ont plus d'impact en couronne qu'en centre ville. A Saint-Paul- Le Port, cela s'expliquait par le réseau routier : la zone centre était en effet traversée par une 2x2 voies qui justifiait l'indifférence de localisation dans la zone. Dans le cas de Saint-Pierre, la seule et unique 2x2 voies traverse également la zone centrale mais cette dernière ne s'étend pas le long de la 2x2 voies. En effet, nous pouvons observer sur la carte 3.7 des ruptures de continuité du bâti.

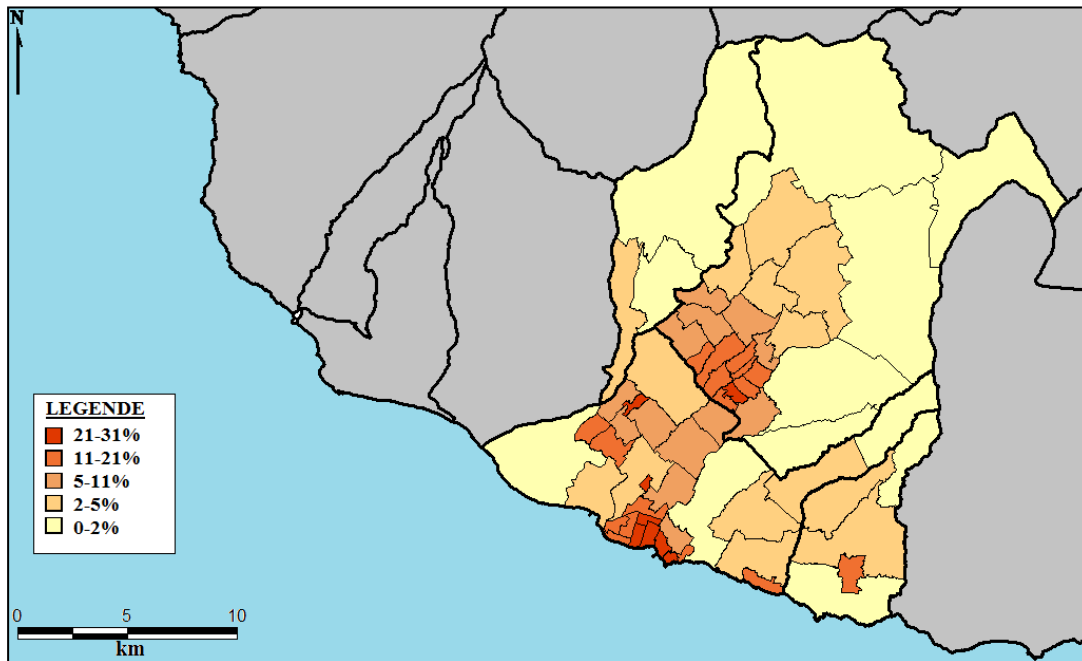
**Carte 3.7 : Organisation urbaine de l'aire urbaine de Saint-Pierre**



Source : données IGN, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Contrairement à l'aire urbaine de Saint-Paul, le qualificatif d'étalement en saut de mouton semble pouvoir décrire la réalité saint-pierroise. En effet, l'analyse de la carte 3.8 permet de constater une répartition inégale du bâti, qui confirme les conclusions apportées au chapitre 2 : l'aire urbaine de Saint-Pierre présente en effet des caractéristiques qui laissent présager l'émergence de centres secondaires.

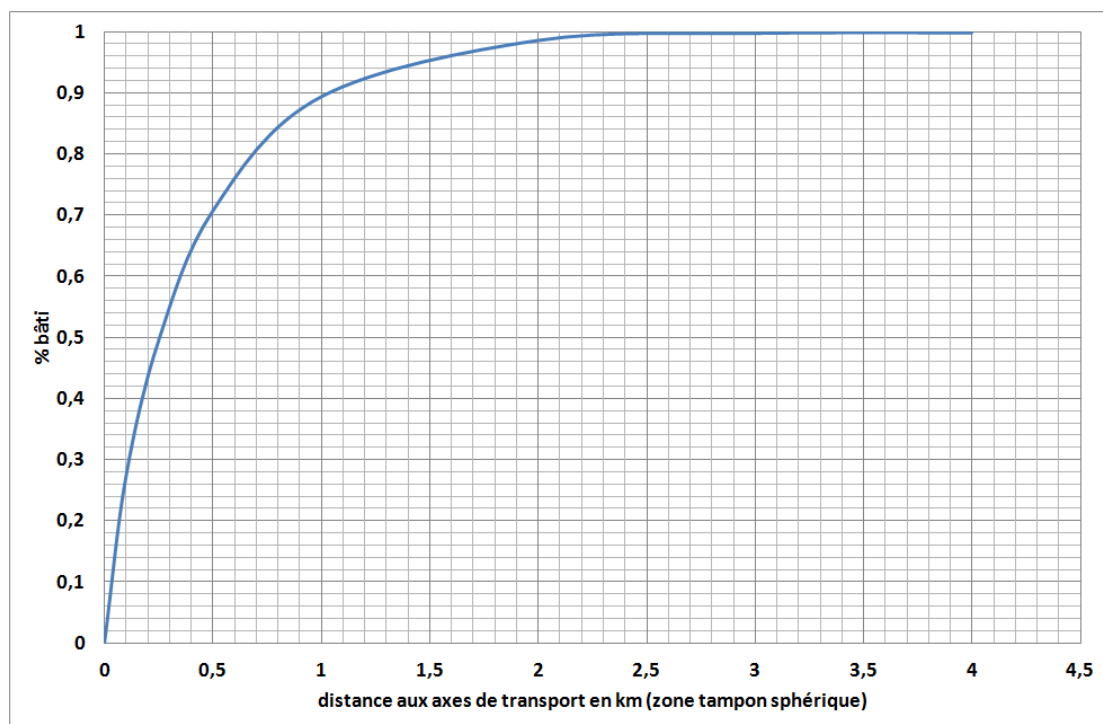
**Carte 3.8 : Pourcentage de surface bâtie, Aire urbaine de Saint-Pierre, 2008**



Source : données IGN, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Cette répartition inégale est conditionnée par le réseau routier : ainsi, 90% du bâti se situe dans un rayon de 1 km autour des axes principaux de transport (Figure 3.9). Le bâti ne se répartit donc pas tout à fait linéairement le long des axes routiers mais il se disperse dans un rayon très faible autour des principaux nœuds, c'est-à-dire les points de rencontre entre les différents types de voies. Ce constat permet, une nouvelle fois, de confirmer les résultats du chapitre 2 ayant fait apparaître la possibilité d'une organisation polycentrique à Saint-Pierre. Cette configuration polycentrique en devenir (le chapitre 2 montre en effet que les centres secondaires n'ont pas encore pris assez d'ampleur) est ainsi entretenue par un réseau routier organisé en étoile.

**Figure 3.9 : Répartition du bâti (en%) autour des axes de transport, Aire urbaine de Saint-Pierre**



Calculs,

conception et réalisation : F. Bénard, 2012



## Conclusion du chapitre

Transport et urbanisme sont deux notions indissociables. Le système urbain et le système transport -ou sous-système transport selon l'approche envisagée- entretiennent des relations étroites et permanentes. Il existe ainsi de nombreux modèles pour l'étude des transports et notamment l'étude de l'interaction transport urbanisme. La démarche effectuée dans ce chapitre et le chapitre précédent s'inscrit dans l'esprit des modèles LUTI et utilisent également des outils des modèles à quatre étapes. Ainsi, la démarche se veut dans un premier temps descriptive et analytique : sur une période de 18 ans, la relation entre localisation de la population et temps d'accès au centre a été étudiée afin de présenter un modèle de répartition pour chacune des aires urbaines réunionnaises. La démarche se veut également dynamique puisqu'elle s'effectue sur une période de 18 années. En effet, la situation des années 1990, 1999 et 2008 a été étudiée de manière statique dans le chapitre 2 et le chapitre présent, tandis qu'une analyse dynamique de la période sera effectuée dans le prochain chapitre dans une optique de prévision. Enfin, la démarche est basée sur des modèles d'économie spatiale à travers les modèles d'analyse de la densité et des populations cumulées. Bien qu'il ne s'agisse pas d'analyser la demande de transport mais bien de comprendre comment les transports expliquent la répartition spatiale de la population, la démarche emprunte aux modèles à quatre étapes par l'utilisation de la méthodologie des modèles d'affectation pour déterminer les temps d'accès au centre.

Les résultats ont fait apparaître trois situations différentes pour les trois aires urbaines. En effet, alors que l'aire urbaine de Saint-Denis est caractérisée par un réseau de transport dense où les temps d'accès ont un impact déterminant dans la répartition de la population sur le territoire, les aires urbaines de Saint-Paul- Le Port et Saint-Pierre sont plutôt structurées par leur réseau routier. Moins dense que celui de l'aire urbaine de Saint-Denis, leur réseau est faiblement doté en voies rapides. Ainsi, à Saint-Paul-Le Port, la zone centre-ville est délimitée par la 2x2 voies tandis que 85% du bâti se répartit dans un rayon de 1 km autour des axes principaux de transport. A Saint-Pierre également, 90% du bâti se répartit dans un rayon de 1 km autour des axes de transport. La zone centre-ville s'étend autour d'un IRIS se positionnant en tant que carrefour de l'aire urbaine : en effet, l'IRIS-centre de l'aire urbaine de Saint-Pierre contient les nœuds entre les différents types de voies menant aux différentes communes composant l'aire urbaine. Les axes de transport structurent donc la répartition de la population et du bâti mais c'est principalement les nœuds c'est-à-dire les carrefours qui vont influencer la répartition. L'étalement de l'aire urbaine de Saint-Pierre peut alors être qualifié d'étalement en saut de mouton : un bâti discontinu laissant vacants certains espaces. L'aire urbaine de Saint-Pierre semble d'ailleurs évoluer vers une organisation polycentrique, entretenue par le réseau routier en étoile. En résumé, la même tendance observée sur la courbe de population cumulée en fonction des temps d'accès permet donc d'observer deux traductions : un étalement linéaire le long des voies de transport, visible à Saint-Paul- Le Port et un étalement en saut de mouton autour des nœuds émanant des axes de transport, visible à Saint-Pierre.

L'analyse statique de chaque année a permis de mettre en évidence un étalement urbain important dans chacune des aires urbaines étudiées. L'interaction transport-urbanisme a été au

cœur de l'analyse avec la mise en place des trois modèles permettant de décrire les aires urbaines étudiées. Le chapitre suivant va poursuivre l'étude par l'application d'une analyse dynamique permettant de mettre en exergue les différents coefficients d'évolution dans l'optique d'une analyse prédictive de la Réunion en 2030.

# CHAPITRE 4

La Réunion en 2030, quelles  
évolutions pour les principales  
aires urbaines ?

# Sommaire du chapitre 4

## CHAPITRE 4

### **La Réunion en 2030, quelles évolutions pour les principales aires urbaines ? ..... 134**

Introduction du chapitre .....	136
I. Analyse dynamique sur la période 1990-2008 .....	137
I.1 Saint-Denis : une croissance restreinte.....	138
I.2 Saint-Paul- Le Port : un étalement sans limite précise.....	145
I.3 Saint-Pierre, un étalement sans limite ? .....	150
II. Quelles évolutions de l'étalement urbain en 2030 ? Quelques scénarios .....	154
II.1 Méthodologie de prévision.....	155
II.2 Aire urbaine de Saint-Denis : une densification du centre.....	157
II.3 Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port : un étalement urbain en deux temps ou un étalement urbain continu favorisé par la route des Tamarins.....	163
II.4 Aire urbaine de Saint-Pierre : évolution constante ou densification des centres	172
Conclusion du chapitre.....	180

# Introduction du chapitre

Le 13 décembre 2000, la loi Solidarité et Renouvellement Urbain, dite loi SRU, renouvelle la planification urbaine en adoptant une démarche législative globale incluant le droit de l'urbanisme, le droit de l'habitat et le droit du transport (Goze, 2002). Promouvant la ville compacte et solidaire (en termes de cohésion urbaine et sociale et en termes de cohésion des politiques urbaines), la loi SRU crée le Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) et le Plan Local d'Urbanisme en remplacement respectif des Schéma Directeur et Plan d'Occupation des Sols (POS). La loi crée également le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) qui impose une stratégie de développement aux communes en assurant la cohésion des différentes actions d'aménagement (CERTU, 2002). En 2012, à La Réunion, les effets et bienfaits de la loi SRU ne sont pas encore totalement visibles. Les SCOT, au nombre de quatre, ont été prescrits mais seul le SCOT Est est approuvé (cf. Annexe 6). Concernant les PLU, seuls les PLU de Saint-Paul et La Plaine des Palmistes sont arrêtés tandis que onze PLU sont approuvés, parmi lesquels celui de Saint-Denis, du Port et de Saint-Pierre, pour dix PLU en élaboration ou révision, parmi lesquels Le Tampon et Sainte Marie, et un PLU annulé (Cilaos) (cf. Annexe 7). Concrètement, seul le Schéma d'Aménagement Régional (SAR), en vigueur à La Réunion depuis 1995 et révisé en 2011, fournit un réel cadre de planification urbaine à La Réunion. La problématique de l'étalement urbain a toujours été apparente dans le SAR mais, alors qu'en 1995, il s'agissait essentiellement de maîtriser l'urbain pour préserver les milieux naturels et agricoles (Lajoie, 2007), la révision du SAR a permis de faire évoluer la problématique de l'étalement urbain en exprimant une volonté de rééquilibrage, à la fois Nord-Sud et littoral-hauts, et de structuration des bourgs de mi-hauts et des hauts. Le SAR met ainsi en évidence l'urgence de ces mesures face à une société en mutation démographique marquée par son histoire. La Réunion se situe en effet dans un processus de rattrapage de la métropole, entamé dès la départementalisation en 1946, tandis qu'elle fait face une croissance démographique parmi les plus élevées en Europe, avec une population qui a triplé en 60 ans : 240 000 habitants lors de la départementalisation pour 808 000 habitants en 2008. Les prévisions démographiques prévoient ainsi, que le million d'habitants sera atteint en 2030. Ces prévisions tendanciennes renforcent le caractère urgent de la maîtrise de l'urbain à La Réunion. Des outils de planification et de prospectives deviennent alors nécessaires pour prévoir l'organisation démographique spatiale à La Réunion en 2030.

La prospective territoriale, concept introduit par Gaston Berger au XX<sup>ème</sup> siècle pour qualifier les recherches sur l'avenir possible, désigne un processus pluridisciplinaire qui consiste à penser dans le long terme pour agir efficacement dans les prises de décision du court et moyen terme (Loinger, 2005, David, 2010). Le CERTU définit en 2008 quatre types de prospectives : la prospective exploratoire, la prospective normative, la prospective stratégique et la prospective participative. La prospective exploratoire répond à une question essentielle : Que va-t-il advenir ? Il s'agit, à partir de la connaissance même imparfaite du présent, d'explorer, de prédire les différents futurs possibles. Couramment confondue avec l'analyse prédictive, la prospective exploratoire se base sur des scénarios tendanciels qui ne pourront se réaliser entièrement mais qui donne des indications sur le futur (Loinger, 2005).

Souvent le futur va se composer de bribes des différents scénarios (CERTU, 2008). La prospective normative consiste plutôt à construire des visions contrastées du futur (une vision d'avenir commune aux différentes parties prenantes) et d'en calculer les modalités de réalisation. Il s'agit donc d'établir de grandes orientations stratégiques dans des démarches de planification. La prospective participative s'intéresse au processus de réflexion : il s'agit de mettre en place un processus de concertation et de débat public afin de faire intervenir l'intelligence collective. Ce type de prospective est ainsi associé à la notion de gouvernance et de débat public (CERTU, 2008). Enfin, le dernier type de prospective est la prospective stratégique qui consiste à définir les conditions de réalisations d'un objectif préalablement fixé. Ce type de prospective est le plus complexe à mettre en place dans la mesure où elle nécessite un environnement contrôlé (CERTU, 2008).

La prospective territoriale est souvent confondue avec la planification territoriale, bien que ces deux notions soient distinctes. Loinger (2005) définit cette distinction de la manière suivante : la planification prévoit l'avenir tandis que la prospective donne les moyens aux acteurs de maîtriser cet avenir, ou du moins à agir sur cet avenir. Les deux notions sont donc fondamentalement liées et souvent la planification et la prospective territoriale exploratoire sont confondues. Loinger définit la prospective territoriale comme un ensemble d'outils et un système d'organisation de la démarche pour élaborer le projet de territoire qui sert de support à l'activité de planification. La prospective permet ainsi d'enrichir et justifier la démarche de planification (Loinger, 2005).

Notre travail s'inscrit dans une démarche de prospective exploratoire : à partir des configurations urbaines observées en 1990, 1999 et 2008 dans les aires urbaines de Saint-Denis, Le Port et Saint-Pierre (I), nous proposons quelques scénarios possibles à l'horizon 2030 (II).

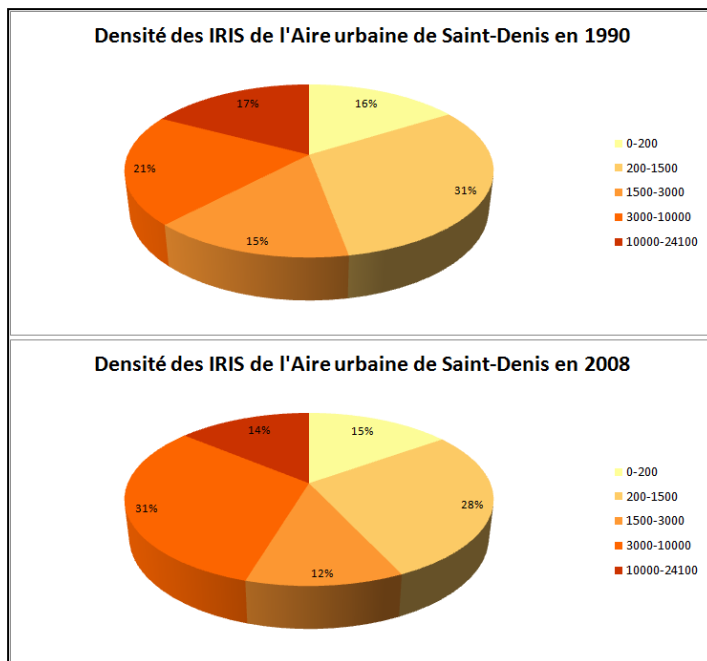
## **I. Analyse dynamique sur la période 1990-2008**

L'analyse statique réalisée dans les chapitres 2 et 3 a permis de mettre en évidence le phénomène d'étalement urbain en relation aux temps d'accès et à la localisation des infrastructures routières. Des évolutions ont pu être mises en évidence sur les périodes étudiées. Dans cette partie, nous reprenons ces évolutions à partir d'une analyse fine des courbes d'écart entre les populations cumulées de 1990 et 2008, ainsi que les courbes de 1990 et 1999 et 1999 et 2008, mises en relations aux différentes politiques urbaines, lois et faits historiques permettant d'expliquer les évolutions.

## I.1 Saint-Denis : une croissance restreinte

Entre 1990 et 2008, l'aire urbaine de Saint-Denis a vu sa population augmenter de 26%. Cette croissance démographique se traduit par une plus forte demande de logements et de consommation de l'espace. En effet, l'espace s'étale plutôt qu'il ne se densifie. Ainsi, alors que la structure urbaine de Saint-Denis est composée à 17% d'IRIS ayant une densité supérieure à 10 000 hab/km<sup>2</sup> en 1990, cette portion d'IRIS ne représente plus que 14% en 2008.

**Figure 4.1 : Evolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Denis entre 1990 et 2008**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

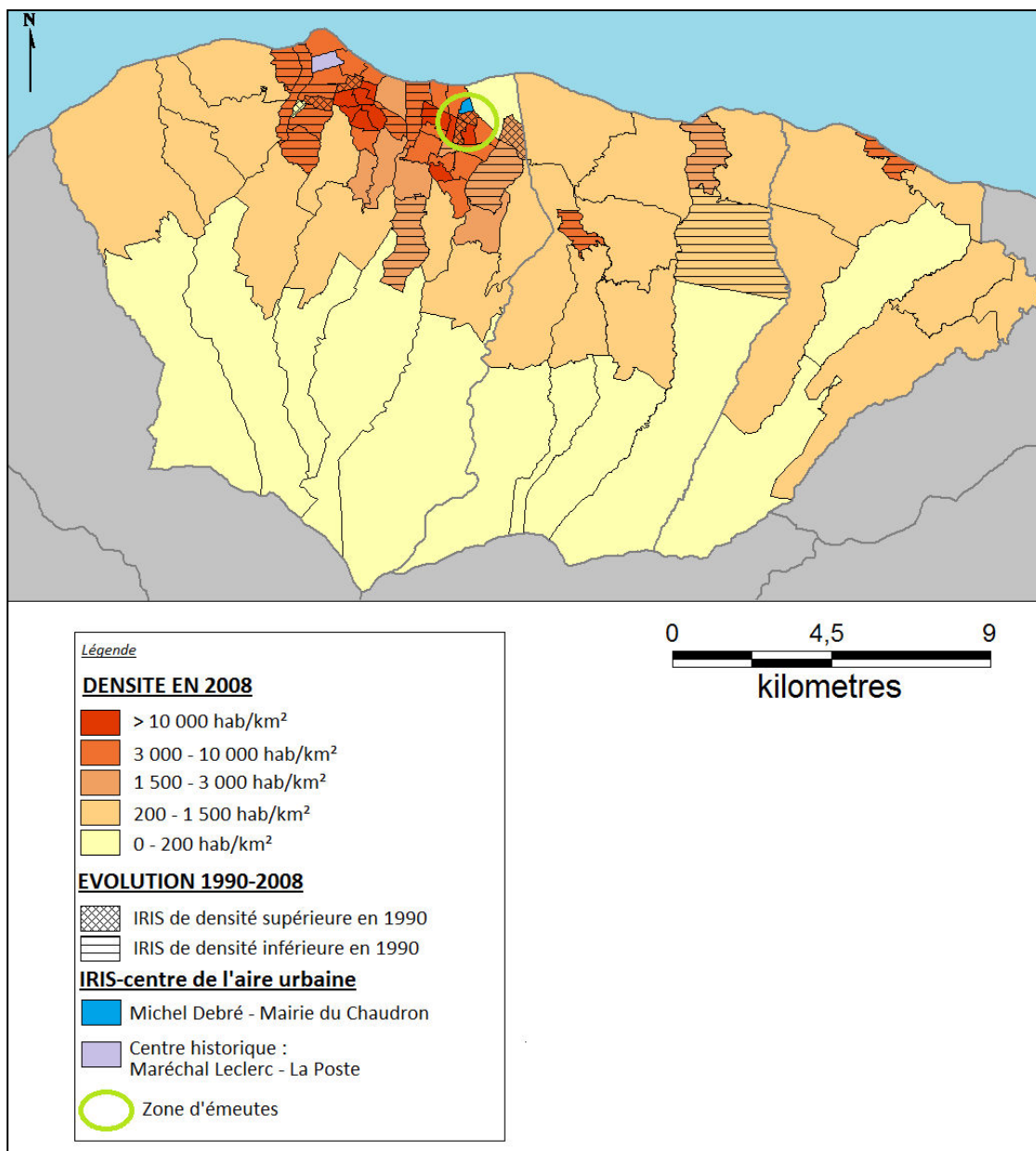
Sur la carte 4.1, on observe que six IRIS ont changé de « classes de densité » entre 1990 et 2008. Nous avons en effet choisi de représenter la densité selon cinq classes distinctes :

- Une première classe distingue les IRIS dits ruraux et concernent les IRIS ayant une densité inférieure à 200 hab/km<sup>2</sup> ;
- La seconde classe distingue les IRIS dont la densité est comprise entre 200 et 1500 hab/km<sup>2</sup>. Il s'agit de quartiers périphériques, souvent situés dans les mi-hauts en bordure de l'espace central, peu denses ;

Ces deux premières classes comprennent des IRIS qui n'ont pas qu'une fonction résidentielle : ces IRIS possèdent beaucoup d'espaces ruraux à usage agricole ainsi que des zones d'activités.

- La troisième classe comprend les IRIS avec une densité supérieure à 1500 hab/km<sup>2</sup> et inférieure à 3000 hab/km<sup>2</sup>. Il s'agit d'IRIS moyennement denses situés en périphérie directe des espaces centraux.
- Les deux dernières classes permettent de situer la zone centrale de l'aire urbaine et distinguent les IRIS dont la densité est comprise entre 3 000 et 10 000 hab/km<sup>2</sup> et les IRIS de densité supérieure à 10 000 hab/km<sup>2</sup>, respectivement qualifiés de denses et très denses.

**Carte 4.1: Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Denis de 1990 à 2008**



Source : INSEE (1990-2008) ; Conception et réalisation : F. Bénard, 2012



Ainsi, l'analyse de la carte 4.1 permet une série de constats. Dans un premier temps, nous pouvons observer qu'une dizaine d'IRIS ont connu une nette augmentation de leur densité et ont ainsi progressé de classe de densité. La majorité de ces IRIS se situe dans la commune de Saint-Denis tandis que les IRIS centre-ville de Sainte Suzanne et de Sainte-Marie se développent également. Dans un second temps nous remarquons qu'un certain nombre d'IRIS perdent en population et donc en densité, parmi lesquels deux IRIS proches du centre Michel Debré – Mairie du Chaudron. Cette perte de population à proximité du centre peut trouver une explication dans les faits historiques. En effet, en 1991, le quartier du Chaudron a été le théâtre d'émeutes urbaines suite à l'annonce de la fermeture d'une chaîne de télévision locale. Ces émeutes, qui ont duré plusieurs jours et se sont illustrées par des scènes de pillages, d'affrontements entre la population et les forces de l'ordre, sont restées ancrées dans les mémoires et ternissent ainsi l'image du quartier. Les autres IRIS ayant été déclassés en termes de densité se situent à proximité du centre historique de l'aire urbaine.

Nous constatons qu'un seul IRIS est passé d'un état rural en 1990 (densité inférieure à 200 hab/km<sup>2</sup>) à un état peu dense en 2008. En effet, les mutations observées sur la carte 4.1 sont globalement des IRIS moyennement dense en 1990 (entre 1 500 et 3 000 hab/km<sup>2</sup>) qui deviennent IRIS denses en 2008 (entre 3 000 et 10 000 hab/km<sup>2</sup>). Cela signifie donc que la croissance urbaine entre 1990 et 2008, dans l'aire urbaine de Saint-Denis, se traduit spatialement par une densification des espaces déjà denses.

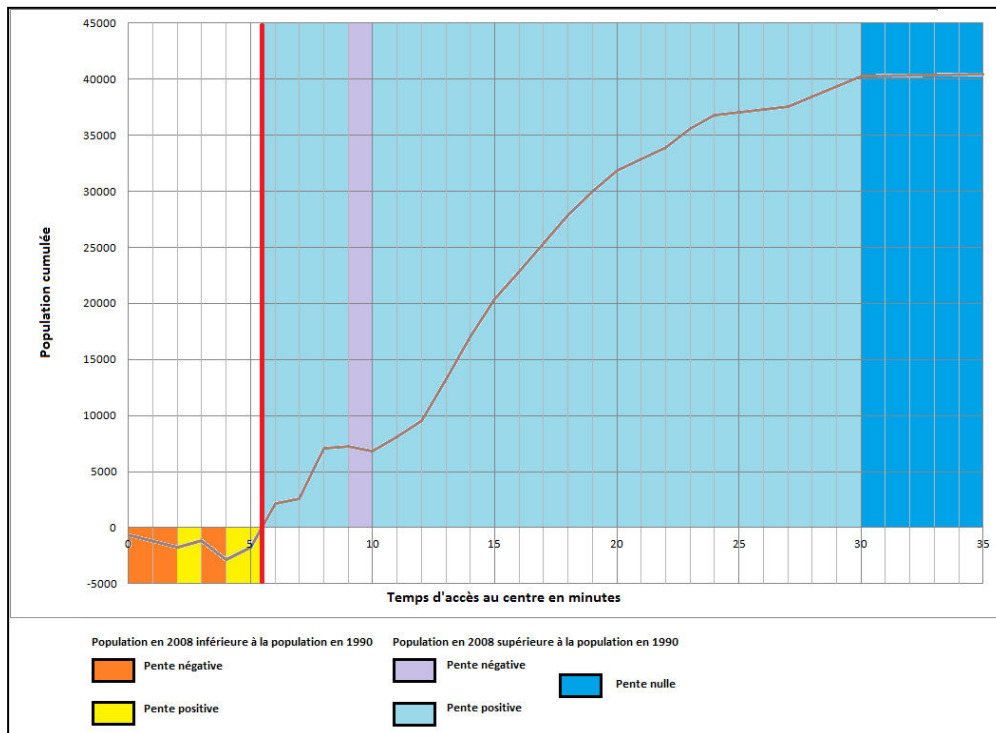
Ces observations se confirment à la lecture de la courbe de différences entre les courbes de population cumulée empiriques de 2008 et de 1990.

### **Analyse dynamique de la période 1990-2008**

En effet, un certain nombre d'éléments peuvent être mis en exergue à l'observation de la courbe de la figure 4.2. La première observation concerne la partie négative de la courbe : en effet, jusqu'à approximativement 5 minutes du centre, la courbe est négative. Cela signifie que sur la période 1990-2008, le centre et ses alentours perdent en population. On constatait en effet un changement de classe de densité dans le sens descendant pour un certain nombre d'IRIS à proximité du centre. Cette perte de population et « dédensification » du centre (Mignot, 2000) est un fait observé dans toutes les villes européennes et notamment françaises où l'on constate une périurbanisation généralisée avec des processus de valorisation du patrimoine immobilier au centre qui limite la densification des espaces et des processus de valorisation des espaces périphériques avec la création de technopoles tertiaires (Aguiléra et Mignot, 2000; Lajoie, 2007). Une autre explication à cette perte de population centrale vient de l'usage de la voiture qui, dans un contexte de croissance des revenus, a permis aux ménages d'habiter plus loin. En effet, le taux d'équipement automobile est passé de 50% des ménages en 1990 (IEDOM, 2004) à 70% en 2008 (données INSEE 2008). Une autre explication peut venir de l'analyse du cycle de vie de l'urbain selon Van den Berg (1987). En effet, la croissance urbaine pourrait être analysée selon une succession de quatre phases : une première phase d'urbanisation, caractérisée par une croissance soutenue de la population urbaine et qui correspond, à La Réunion, aux conséquences de la départementalisation intervenue en 1946 et à la loi Debré du 14 décembre 1964 visant la lutte contre les bidonvilles ; une seconde phase de suburbanisation où la croissance des zones périphériques

est plus importante que celle du centre ; une troisième phase de désurbanisation qui correspond à une baisse de la population centrale et une augmentation de la population périphérique ; et une quatrième et dernière phase de rurbanisation qui voit de nouveau une croissance démographique au centre. L'aire urbaine de Saint-Denis se situerait donc au niveau de la phase de désurbanisation.

**Figure 4.2 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Denis**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

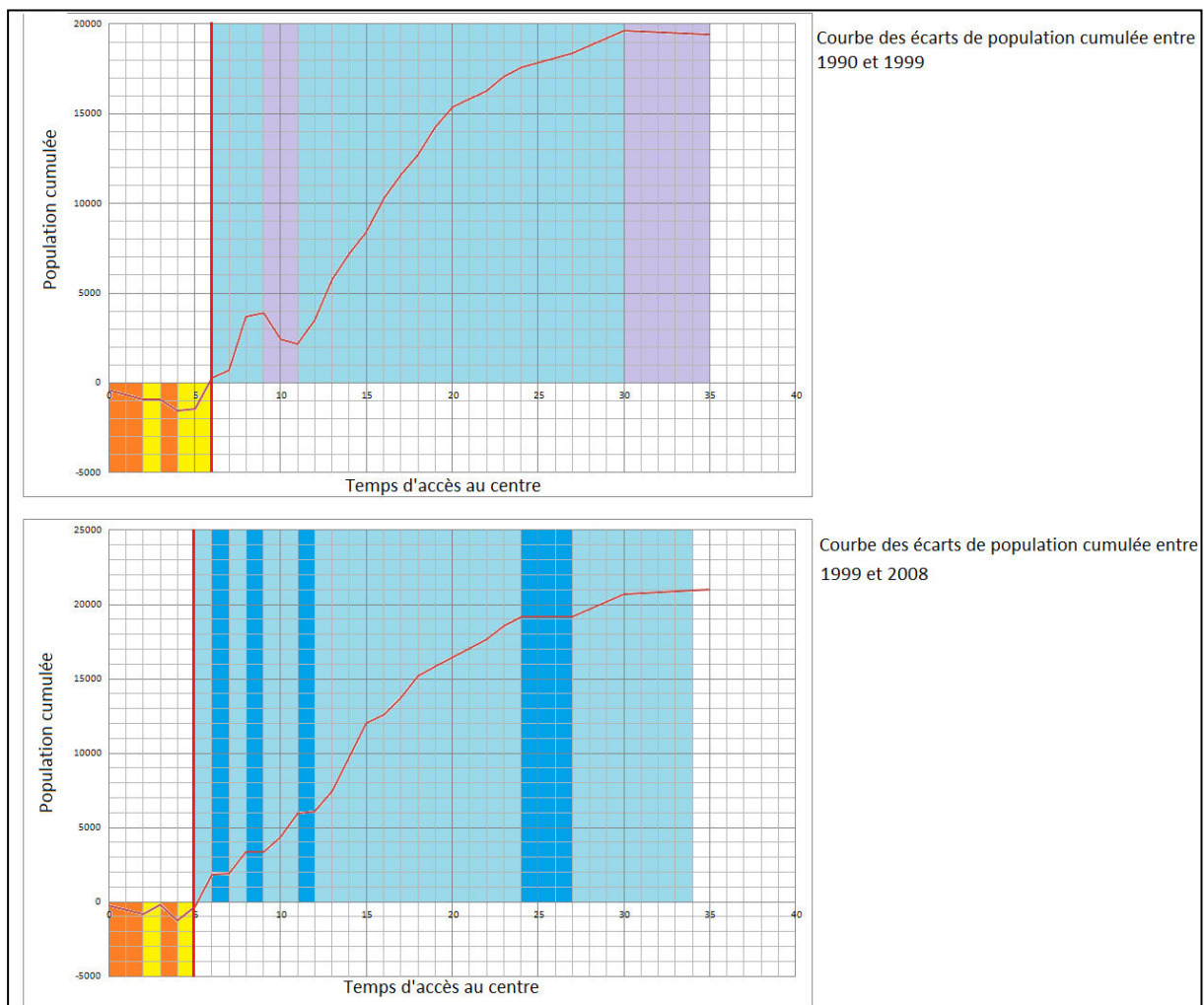
La partie négative de la courbe adopte deux types de comportement : en effet, la courbe peut être ascendante (en jaune) ou descendante (en orange). Lorsque la courbe est ascendante, cela signifie que, bien que la population en 1990 soit supérieure à la population en 2008, on assiste à une augmentation localisée de la population entre 1990 et 2008 : la population croît spatialement « plus vite » en 2008 qu'en 1990. La notion de croissance spatiale s'entend ici en tant qu'ajout de population lors de la progression des temps d'accès. Ainsi, graphiquement, la pente de la courbe de population cumulée en fonction des temps d'accès en 2008 est plus élevée que la pente de la même courbe en 1990. Lorsque la courbe est descendante, on considère que la croissance spatiale de la population en 1990 est plus importante qu'en 2008. Ainsi, en 2008, le centre (puisque la partie orange court de 0 à 2 minutes essentiellement) est moins intensément peuplé qu'en 1990. La perception du centre pourrait donc apparaître plus nettement en 1990 qu'en 2008.

La partie positive de la courbe différencie également plusieurs types de comportement. Dans cette partie, où la population en 2008 a augmenté par rapport à 1990, la courbe peut être ascendante (en bleu clair), descendante (en violet) ou stable (en bleu). Le comportement ascendant met en évidence une forte croissance de la population cumulée, on a en effet un

effet concentration ; tandis que le comportement descendant traduit une perte de vitesse de du cumul de la population en 2008. Cette perte de vitesse n'est enregistrée que dans quatre IRIS qui se situent à proximité du centre ville historique déjà très urbanisé et où la concurrence pour l'occupation du sol est très forte. Ces IRIS sont composés de bâtiments anciens (plus de 50% construits avant 1974 dont 15% avant 1949)<sup>20</sup> exposant un aspect authentique de la ville de Saint-Denis qui freine la densification dans ces secteurs. Au-delà de 30 minutes du centre, la courbe de population cumulée adopte un comportement stable qui signifie qu'on n'enregistre plus de population additionnelle. Cela confirme les résultats de l'analyse statique et l'interprétation qui en a été faite : en effet le relief limite fortement l'étalement de l'aire urbaine de Saint-Denis.

L'analyse de l'évolution de la population cumulée sur la période 1990-2008 peut se décliner en deux temps : dans un premier temps, une analyse des évolutions sur une première période courant de 1990 à 1999, puis une seconde période de 1999 à 2008 (Figure 4.3).

**Figure 4.3 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990-1999 et 1999-2008, Aire urbaine de Saint-Denis**



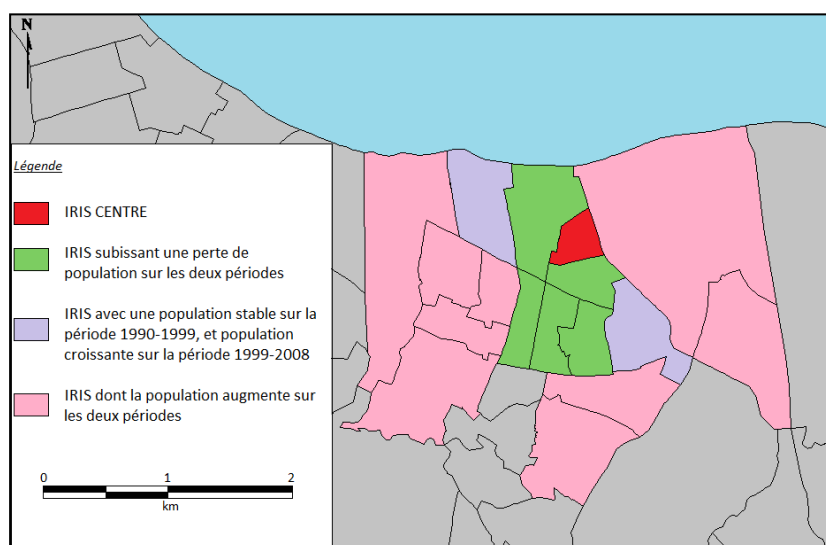
Légende : idem figure 4.2, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

<sup>20</sup> Bases de données infra communales de l'INSEE.

L'analyse de la figure 4.3 fait apparaître un certain nombre de différences entre les deux périodes. La première différence pouvant être signalée, réside dans la partie négative des courbes. En effet, on constate que la perte de population se fait sur un plus grand rayon dans sur la période 1990-1999 que sur la période 1999-2008. Ainsi, dans la première période, la population fuit un centre s'étalant dans un rayon de 6 minutes tandis que ce rayon baisse à 5 minutes dans la période suivante. Cela signifie donc que, sur la seconde période, soit la période 1999-2008, la perte de population se réduit par rapport à la période précédente, en termes de nombre d'IRIS concernés et par conséquent en termes de surface. Cette diminution est, de plus, confirmée par l'amplitude des courbes d'écart de population cumulée par rapport à l'axe des abscisses –c'est-à-dire l'éloignement à l'axe des abscisses. En effet, la courbe représentant les différences de population cumulée entre 1990 et 1999 est plus « éloignée » de l'axe des abscisses que la seconde courbe, c'est-à-dire la courbe représentant les différences de population cumulée entre 1999 et 2008 : -1056 habitants en moyenne pour la première courbe sur le rayon 0 à 6 minutes contre -567 habitants en moyenne pour la seconde sur un rayon de 0 à 5 minutes. Globalement, l'analyse montre, à l'instar de la première analyse effectuée sur la totalité de la période (1990 à 2008) que le centre de l'aire urbaine de Saint-Denis subit une perte de population : la période 1990-1999 aura quand même été la plus critique, probablement en raison de la récurrence des émeutes. L'analyse des parties descendantes et ascendantes de la partie négative des courbes de différences de population cumulée mettent en évidence les mêmes tendances observées sur la totalité de la période :

- De 0 à 2 minutes et à 4 minutes, on observe une perte de population sur les deux périodes : ainsi le cumul en 1990 progresse plus vite qu'en 1999 et 2008 ;
- à 3 minutes, la population des IRIS augmente entre 1999 et 2008, tandis qu'elle est stable sur la période précédente ;
- à 5 et 6 minutes, la population des IRIS augmentent sur les deux périodes observées.

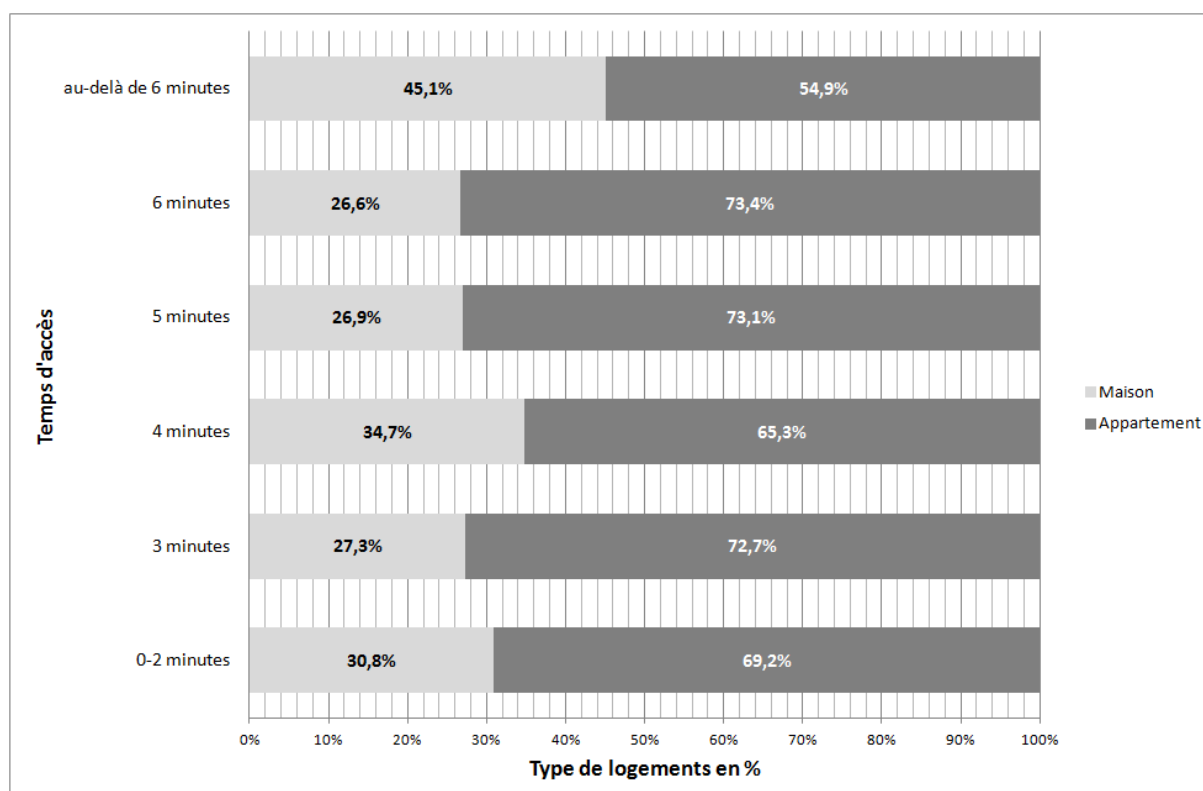
**Carte 4.2 : Représentation cartographique de l'évolution de la zone centrale de l'aire urbaine de Saint-Denis**



Source : INSEE, Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

La carte 4.2 permet de visualiser les IRIS qui perdent en population entre 1990 et 2008. La zone correspond à une zone où l’habitat collectif prédomine. Ainsi, on constate une répartition moyenne de 30 % de maisons individuelles pour 70% d’appartements en 2008. Au delà de cette zone, la répartition entre maison et appartements se fait plus égalitaire : 45% de maisons individuelles pour 55% d’appartements. On constate que les IRIS dont la croissance spatiale de la population a freiné sur la période 1990-2008 enregistrent de plus fort taux de maisons individuelles (30,8% à 2 minutes et 34,7% à 4 minutes) que les IRIS à 3, 5 et 6 minutes (Figure 4.4).

**Figure 4.4 : Répartition des types de logement dans la zone centrale de l’aire urbaine de Saint-Denis**



Réalisation : F. Bénard, 2012

L’analyse de la partie positive des courbes fait également apparaître quelques différences. En effet, on remarque une constante augmentation sur la période 1999-2008 avec une pente globalement positive qui indique que le cumul de population en 2008 augmente plus rapidement qu’en 1999. Sur la même période, on constate que le cumul progresse moins vite en 2008 qu’en 1999 au niveau des IRIS situés à 10 et 11 minutes du centre, ce qui signifie que ces IRIS perdent en population entre 1999 et 2008. Ces IRIS se répartissent autour de l’Université de la Réunion et autour du centre historique de l’aire urbaine de Saint-Denis. L’essor de l’Université de la Réunion, autonome depuis les années 1980, a généré la construction, dans les années 1990, de nombreux logements étudiants en proche périphérie de l’IRIS comprenant l’Université. Cela explique ainsi l’augmentation faible enregistrée sur la période 1990-1999 (en raison des travaux) et importante (marquée par une pente plus raide de la courbe représentant les écarts de population cumulée entre 1999 et 2008 sur l’intervalle 9-

11 minutes) enregistrée sur la période 1999-2008, la croissance de l'Université régulant ainsi la croissance de la population dans le secteur. Les autres IRIS concernés par cette perte de vitesse se situent en périphérie proche du centre ville historique : déjà présentés dans l'analyse globale, il s'agit d'IRIS composés de bâtiments anciens qui freinent, dans un premier temps, les opérations de densification dans ce secteur. La spéculation foncière de ce secteur, très prisé, explique également la faible augmentation de population enregistrée sur la période A. En juillet 2003, la loi Girardin sur la défiscalisation de l'immobilier en Outre-Mer a redynamisé le secteur du logement à la Réunion : les promoteurs privés prennent le pas sur les bailleurs sociaux et ce ne sont pas moins de 80% des productions de logements réalisées sur la totalité de l'île, entre 2000 et 2008, qui sont du fait des promoteurs privés (Dahbi, 2010). Ainsi, la loi Girardin pourrait permettre d'expliquer la croissance forte enregistrée sur la période B, dans ces IRIS proche du centre historique de l'aire urbaine de Saint-Denis. Dans le même temps, la loi Malraux en 2004 permet également une redynamisation de ces IRIS en appliquant le principe de défiscalisation aux logements anciens rénovés.

Enfin, il faut remarquer que les IRIS situés à plus de 30 minutes du centre semblent moins attractif sur la période 1990-1999 que sur la période 1999-2008. Ce constat peut s'expliquer à la fois par des contraintes démographiques plus pesantes sur la seconde période qui expliquent la croissance de ces zones périphériques des hauts de l'aire urbaine de Saint-Denis, et par la loi Girardin qui a incontestablement permis de dynamiser un certain nombre de quartiers des Hauts de Saint-Denis.

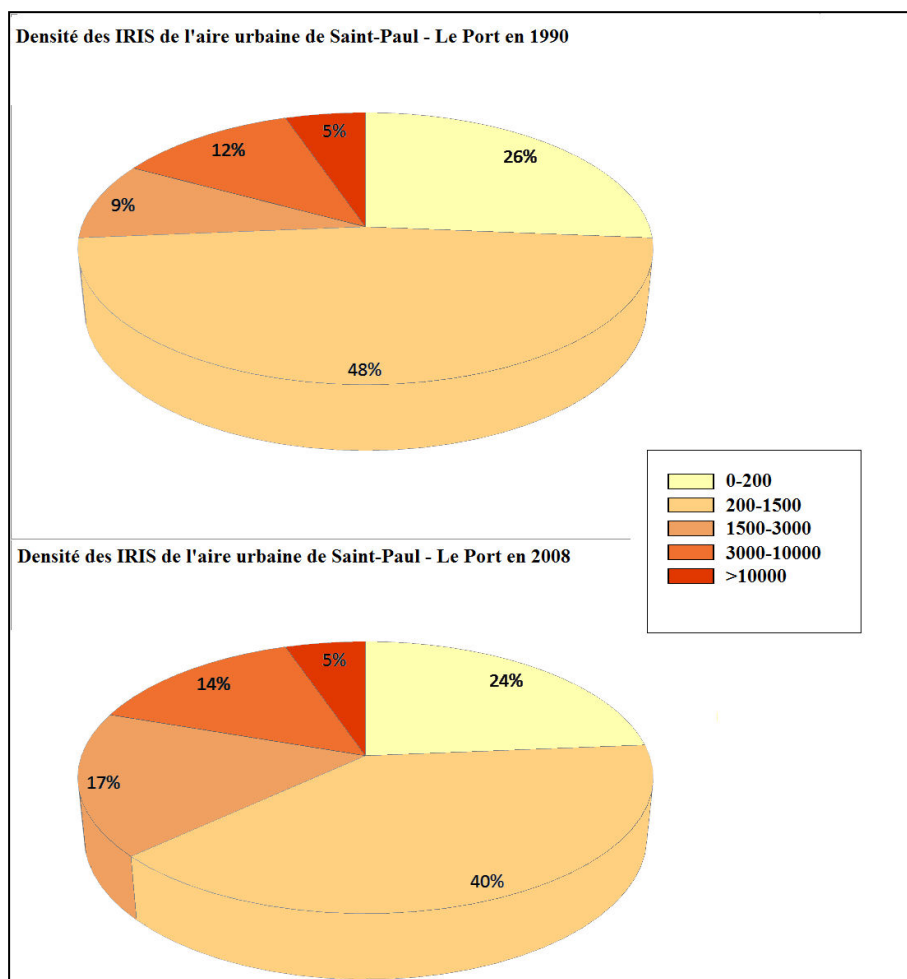
Nous pouvons résumer l'évolution de l'aire urbaine de Saint-Denis en deux points essentiels. Dans un premier temps, nous constatons que la zone centre de l'aire urbaine allant de 0 à 5 minutes perd en population tandis que la périphérie est en constante augmentation. Ce constat situerait ainsi l'aire urbaine de Saint-Denis en phase de désurbanisation. Dans un second temps, deux espaces sont mis en exergue lors de la comparaison des deux périodes du fait du comportement différent qu'ils adoptent lors de ces deux périodes. Un premier espace est lié au développement de l'Université de la Réunion qui a généré des travaux dans les années 1990 qui ont permis de dynamiser le secteur pour un envol dans les années 2000. Le second espace se situe à proximité du centre ville historique. D'abord difficile d'accès pour cause d'authenticité et de spéculation foncière, cet espace a connu un essor dans les années 2000 grâce à la loi de défiscalisation. Cette analyse dynamique de la croissance de la population de l'aire urbaine de Saint-Denis a permis de mettre en évidence un aspect essentiel : l'impact des politiques publiques sur l'organisation urbaine.

## **I.2 Saint-Paul- Le Port : un étalement sans limite précise**

La croissance démographique de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port est plus élevée que celle de Saint-Denis sur la période 1990-2008 : +39% pour Saint-Paul- Le Port contre +26% pour Saint-Denis. Cette croissance a engendré une augmentation des constructions de

logements : ainsi, 45% des logements en 2006 dans l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port ont été construits à partir de 1990<sup>21</sup>. Cette croissance démographique se traduit, sur la période 1990-2008, par la densification d'IRIS de type rural tandis que les espaces déjà denses évoluent peu : on observe une perte de 2 points des IRIS ruraux (densité inférieure à 200 hab/km<sup>2</sup>) et une perte de 8 points des IRIS entre 200 et 1500 hab/km<sup>2</sup> ; les IRIS de plus de 10 000 hab/km<sup>2</sup> stagnent à 5% tandis que les IRIS moyens augmentent de 8 points.

**Figure 4.5 : Evolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port entre 1990 et 2008**

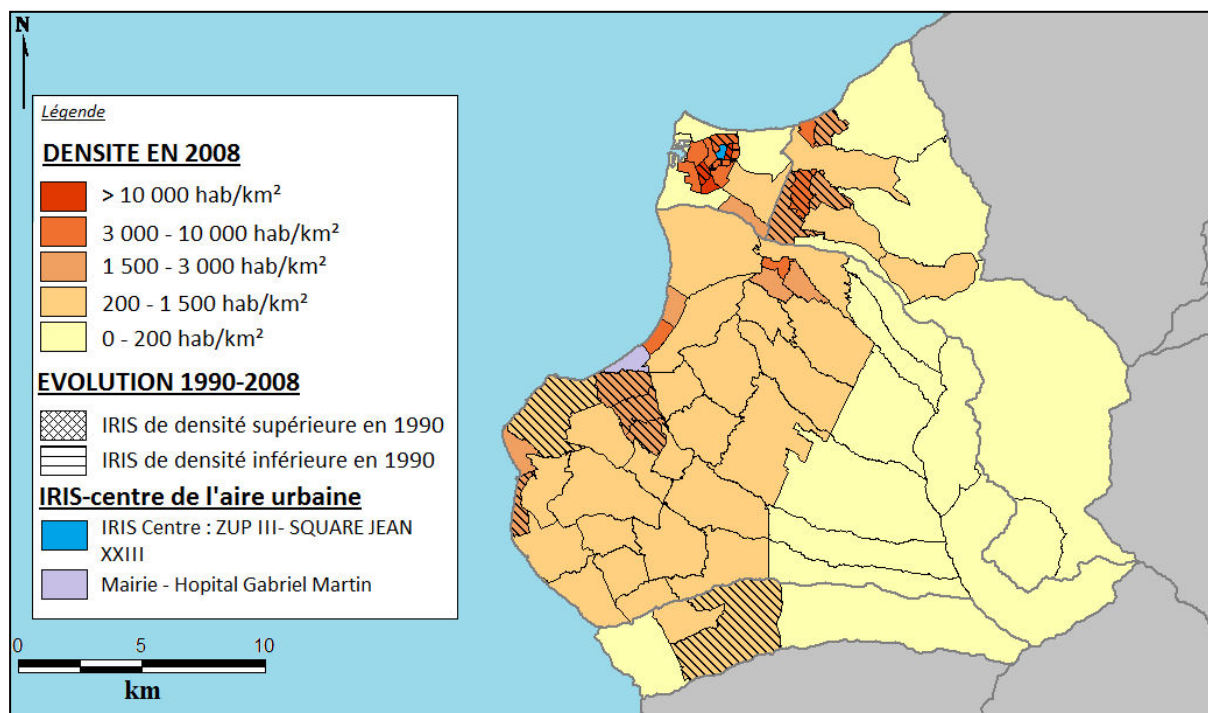


Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

<sup>21</sup> Calculs à partir de la base infracommunale de l'INSEE.



**Carte 4.3 : Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port de 1990 à 2008**



Source : INSEE 2008, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

La carte 4.3 nous indique que l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port est peu dotée en IRIS extrêmement denses. Les seuls IRIS extrêmement denses se regroupent dans la commune du Port autour de l'IRIS centre. Globalement, l'aire urbaine se compose en majorité d'IRIS peu denses (entre 200 et 1500 hab/km<sup>2</sup>). Les quelques IRIS moyens (1500-3000 hab/km<sup>2</sup>) se situent dans la zone de Saint-Gilles en bord de mer. La zone comprend d'ailleurs cinq IRIS ayant changé de classe entre 1990 et 2008 : quatre IRIS peu denses en 1990 devenus moyennement denses en 2008 et un IRIS « rural » est devenu peu dense. Le terme rural n'est pas à prendre au sens strict du terme (campagne agricole) mais bien au sens peu habité. L'IRIS concerné correspond aujourd'hui (et déjà en 2008) à une zone touristique très prisée où se localisent de nombreux hôtels et commerces touristiques. Les autres IRIS ayant changé de classe se localisent dans la commune de La Possession. La densification intervenue dans ces IRIS correspond à une volonté politique à l'image de la ZAC Saint-Laurent, à la fois ZUS (Zone Urbaine Sensible) et ZRU (Zone de Redynamisation Urbaine).

Seuls deux IRIS perdent en densité : ils se situent à proximité directe du centre et migrent de la classe extrêmement dense à dense. Contrairement à Saint-Denis, la croissance démographique à Saint-Paul- Le Port se traduit par une densification d'espaces peu denses. L'étalement urbain est alors plus visible dans l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port.

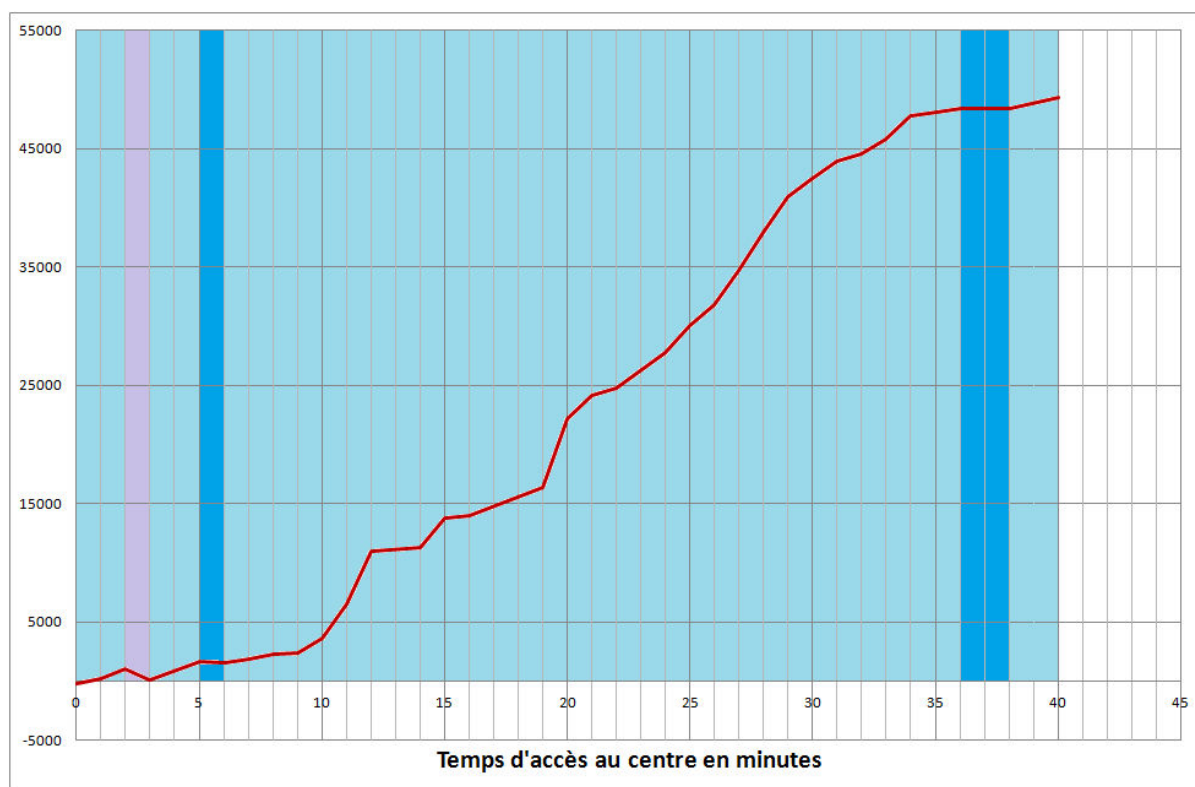
L'analyse des courbes de différences entre les courbes empiriques et les courbes théoriques permet d'apporter quelques précisions.



## Analyse dynamique de la période 1990-2008

Contrairement à l'aire urbaine de Saint-Denis, l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port n'enregistre pas de baisse de population dans la zone centrale. Ainsi, la courbe est totalement positive (Figure 4.6).

**Figure 4.6 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port**



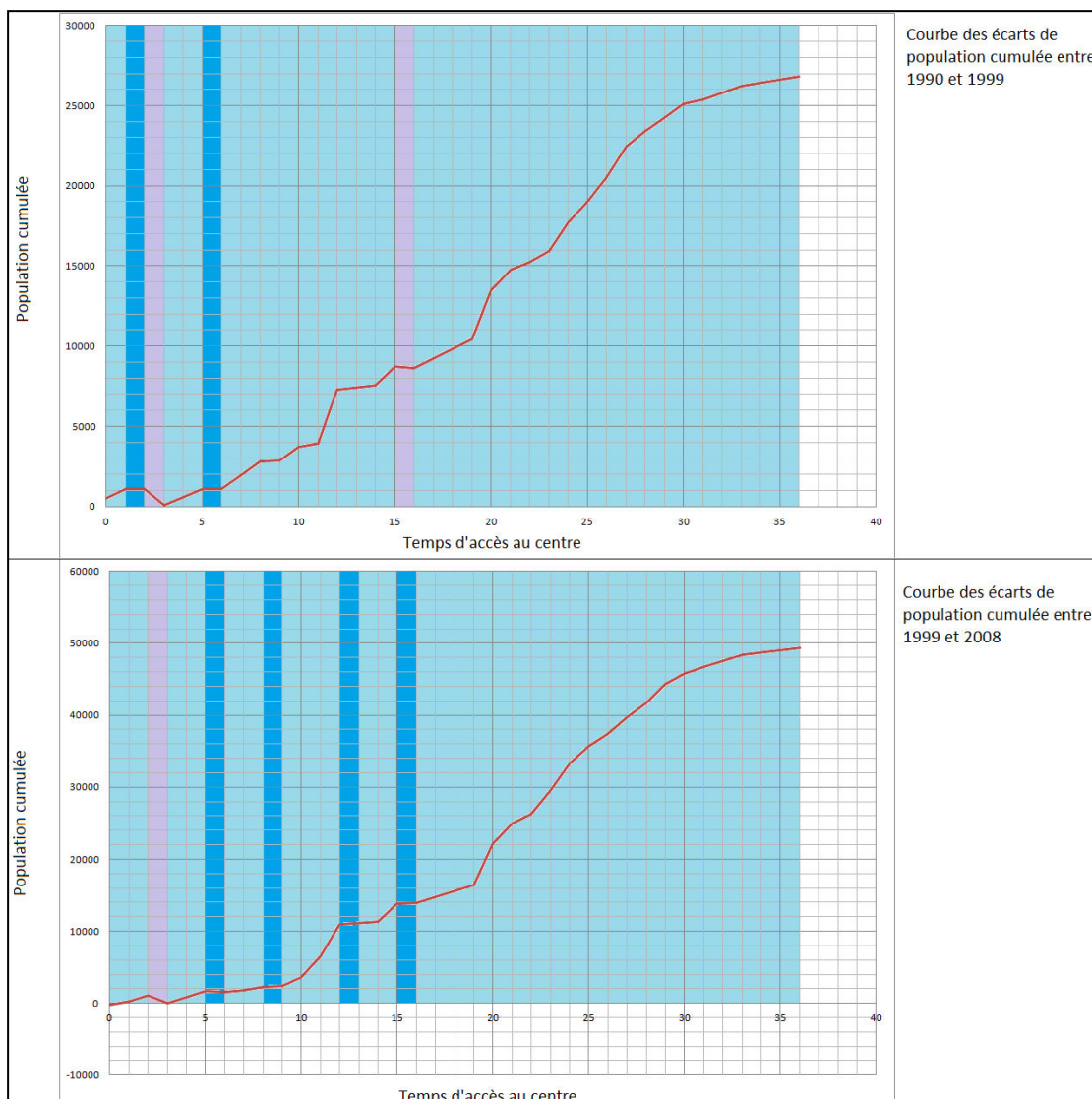
Légende : idem figure 4.2, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

A 3 minutes du centre, la courbe fait apparaître, en 2008, une perte de vitesse de l'augmentation spatiale de la population (du cumul) par rapport à 1990. Cela correspond à trois IRIS à proximité directe de l'IRIS centre (dont deux enregistraient également un changement descendant de classe de densité). Certains IRIS évoluent peu de 1990 à 2008 tandis que la courbe s'accélère au-delà de 19 minutes du centre, c'est-à-dire en couronne périurbaine : cela signifie ainsi qu'en 2008, le cumul de population en couronne est plus important qu'en 1990. La croissance démographique dans l'aire urbaine de Saint-Paul se traduit donc par un étalement urbain visible en couronne périurbaine et non par une densification des espaces déjà denses comme à Saint-Denis.

Pour compléter l'analyse, nous distinguons deux périodes distinctes : une première période allant de 1990 à 1999 et une seconde période de 1999 à 2008. La distinction des deux périodes (Figure 4.7) permet d'apporter peu de précisions supplémentaires aux résultats déjà avancé lors de l'analyse dynamique globale. Nous remarquons que la courbe des écarts de

population cumulée entre 2008 et 1999 comporte des parties négatives, contrairement à la courbe des écarts de la première période (1990-1999) et la courbe des écarts entre 1990 et 2008. Ainsi, entre 1999 et 2008, certains IRIS perdent en population aux abords de l'IRIS centre et de la zone portuaire. Mis à part ces IRIS spécifiques, la tendance globale de la croissance explicitée lors de l'analyse de la période 1990-2008 est confirmée. Nous remarquons que la fin de la courbe ne fait pas apparaître clairement d'asymptote horizontale (la courbe est ascendante et non stable même si une stabilisation semble s'engager à 35 minutes), ce qui indique que la population a tendance à augmenter même en fin de couronne. L'étalement urbain à Saint-Paul- Le Port apparaît ainsi sans limite précise.

**Figure 4.7 : Analyse dynamique des courbes de différences de population cumulée A et B, aire urbaine de Saint-Paul- Le Port**

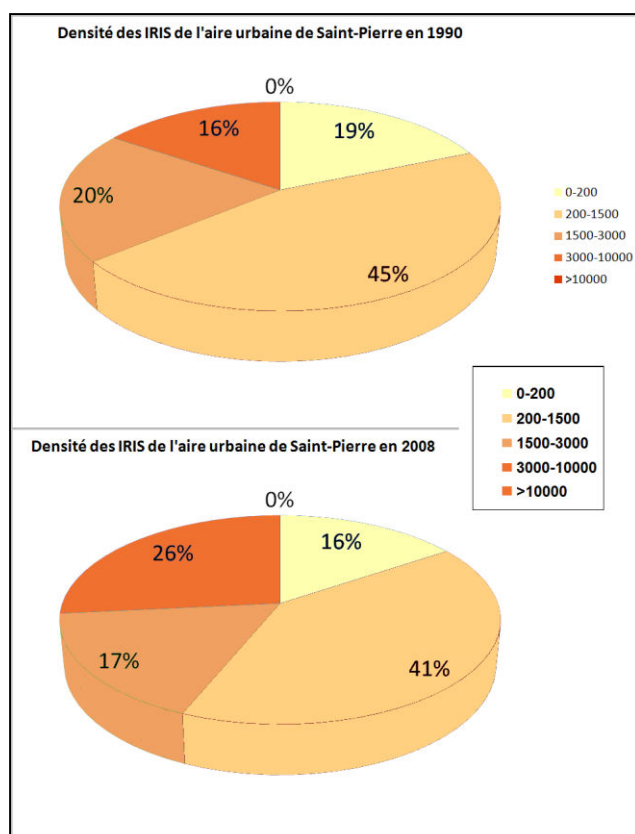


Légende : idem figure 4.2, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

## I.3 Saint-Pierre, un étalement sans limite ?

La croissance démographique de l'aire urbaine de Saint-Pierre est similaire à celle de Saint-Paul : une augmentation de 39% de sa population en 18 ans. Cette croissance démographique s'accompagne d'une augmentation de la production de logements avec 48% des logements en 2006 construits à partir de 1990<sup>22</sup>. Cela se traduit par une densification des IRIS puisqu'on enregistre une augmentation de 10 points des IRIS denses (Figure 4.8), principalement due aux IRIS moyennement denses en 1990 devenus denses en 2008 (ce changement de classe de moyennement dense à dense représente 46% des changements de classe). Les IRIS ruraux et peu denses subissent une baisse respective de 3 et 4 points, ce qui indique que, bien que l'étalement se traduise par une densification des IRIS moyennement denses, il se traduit également par un étalement vers les espaces ruraux. Nous pouvons également remarquer qu'aucun IRIS ne possède une densité de population supérieure à 10 000 hab/km<sup>2</sup> (Figure 4.8 et carte 4.4).

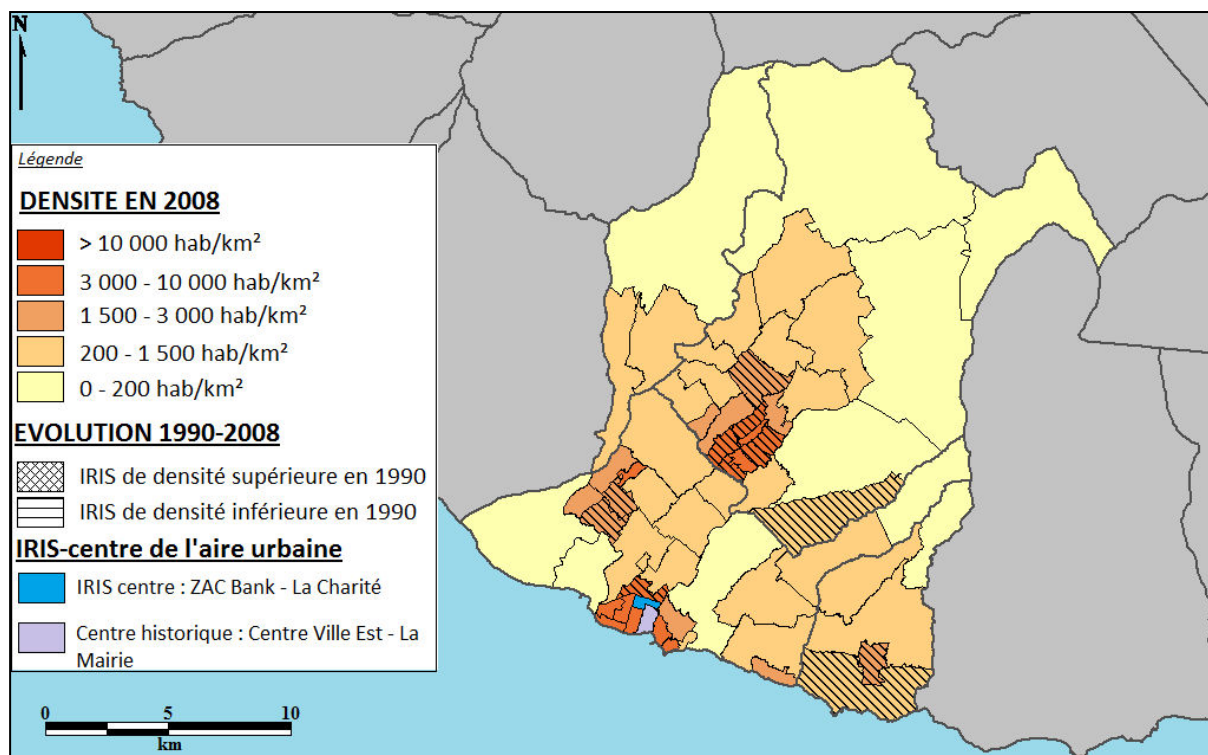
**Figure 4.8 : Evolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Pierre entre 1990 et 2008**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

<sup>22</sup> Calculs à partir de la base infracommunale de l'INSEE.

**Carte 4.4 : Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Pierre de 1990 à 2008**



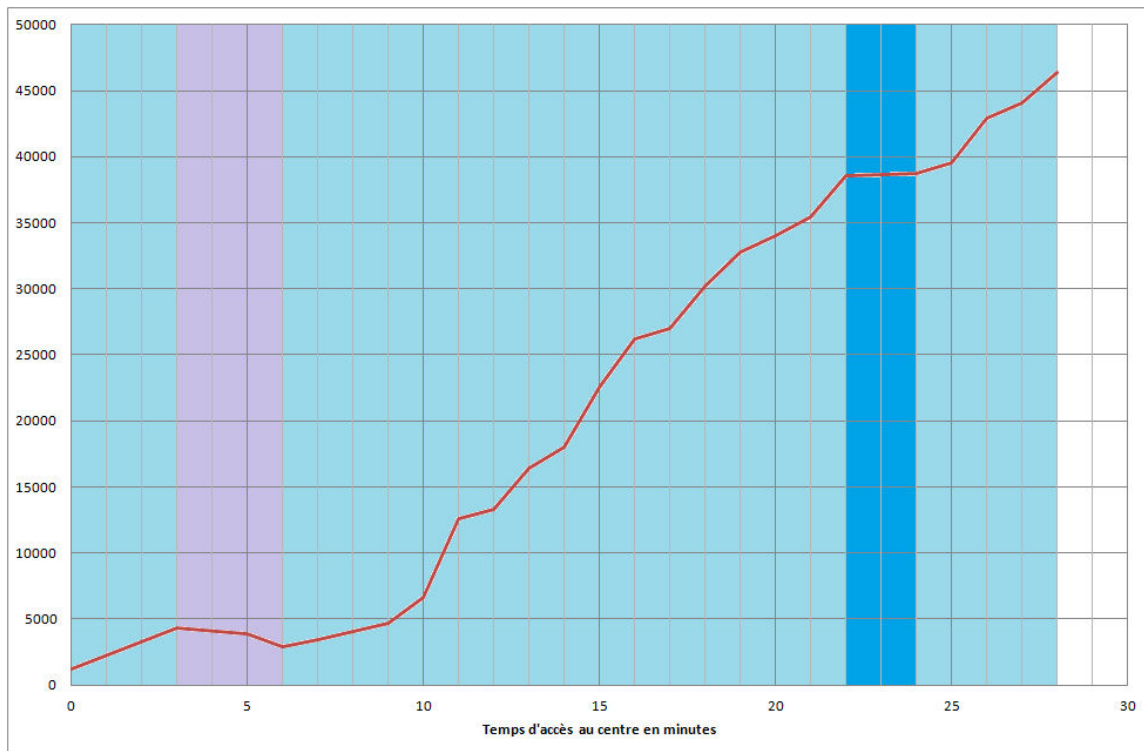
Source : INSEE ; Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

La carte 4.4 permet de localiser les IRIS dont la densité a augmenté significativement entre 1990 et 2008, c'est-à-dire les IRIS ayant changé de classe. Nous remarquons que ces IRIS se situent à proximité des centres considérés dans l'analyse polycentrique du chapitre 2, à savoir les centres  $\rho$  au Tampon et  $\mu$  dans le quartier de la Ravine des Cabris dans la commune de Saint-Pierre à l'Ouest. Cela confirme ainsi l'analyse effectuée dans le chapitre 2 qui indique que Saint-Pierre présente une configuration monocentrique qui voit se dessiner l'émergence de centres secondaires. La carte permet également de localiser une évolution importante dans le secteur de la Petite Ile qui pourrait, au fil des ans, placer le centre ville de la Petite Ile, peu dense en 1990 et moyennement dense en 2008, en position de centre secondaire.

L'analyse des courbes de différences entre les courbes empiriques et les courbes théoriques permet de constater une évolution similaire à celle de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port sur la période 1990-2008.

A l'instar de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port, l'aire urbaine de Saint-Pierre n'enregistre pas de baisse de population dans la zone centrale : la courbe des différences de population cumulée entre 1990 et 2008, la courbe est totalement positive (Figure 4.9).

**Figure 4.9 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port**



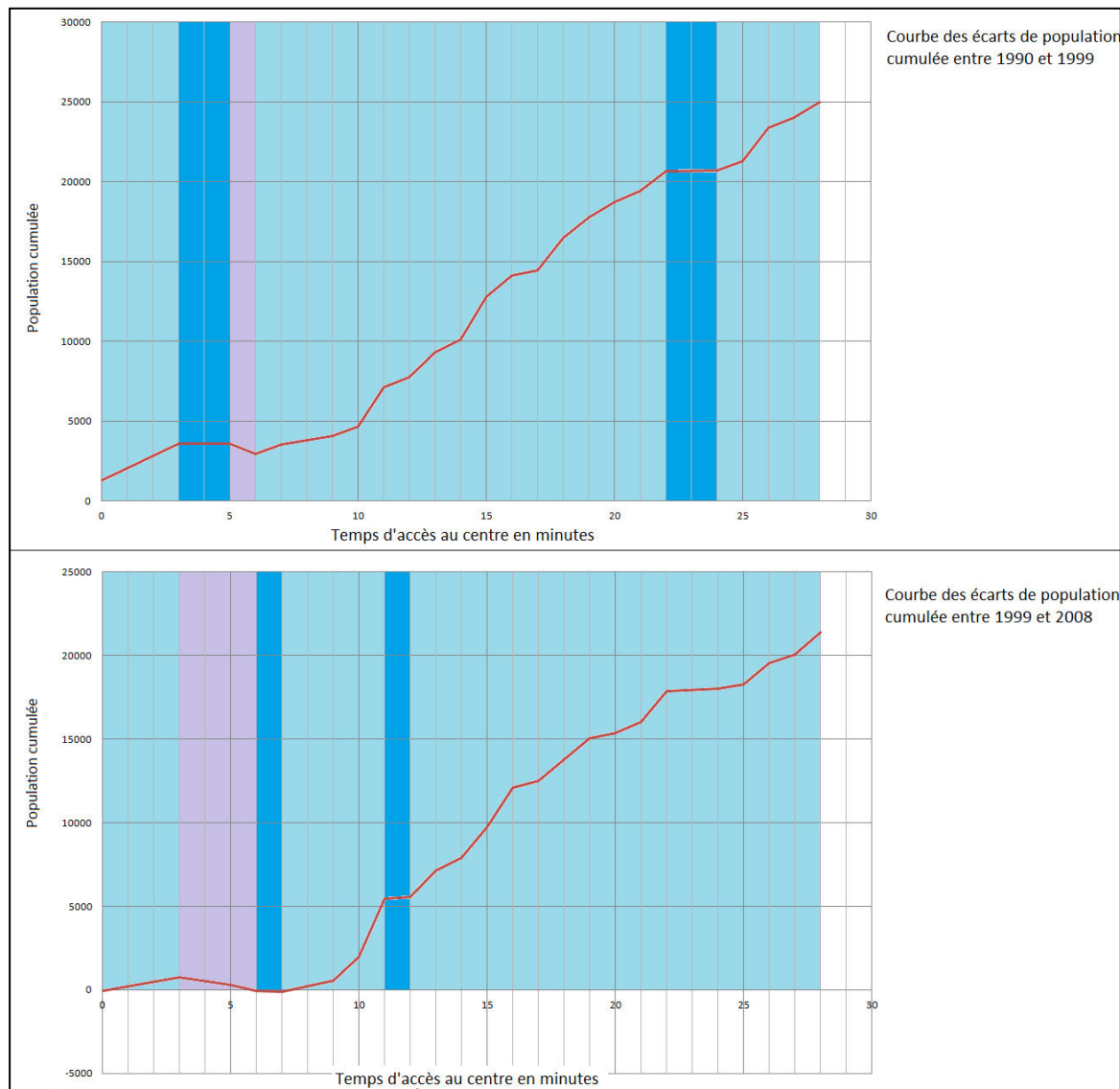
Légende : idem figure 4.3, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

La courbe est en effet positive et globalement ascendante ce qui indique que, non seulement la population cumulée de 2008 est supérieure à la population cumulée de 1990, mais le cumul progresse également plus vite en 2008. Seul un groupe d'IRIS situés à 5, 6 et 7 minutes enregistrent une croissance spatiale moins forte en 2008. Il s'agit d'IRIS situés à proximité directe du centre ZAC Bank- La Charité. Ce ralentissement du cumul aux abords du centre est général aux trois aires urbaines : à Saint-Denis, la population au centre baisse et à Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre, le cumul de population augmente tout simplement moins rapidement en 2008 qu'en 1990. L'analyse du cycle de vie de l'urbain permet d'expliquer cette perte de population au centre, qui indique que l'aire urbaine de Saint-Pierre est en phase de suburbanisation.

Comme précédemment, nous pouvons distinguer deux périodes distinctes permettant de compléter l'analyse : une première période allant de 1990 à 1999 et une seconde période de 1999 à 2008. La distinction de ces deux périodes permet de constater que la baisse de régime au centre commence véritablement à partir de 1999 (Figure 4.10). En effet, seuls les IRIS situés à 7 minutes enregistrent une croissance peu rapide entre 1990 et 1999 : cela correspond à deux IRIS parmi lesquels l'IRIS centre initial c'est-à-dire Terre Sainte-Le Trou du chat. L'information importante à retenir de l'analyse des trois différentes courbes, c'est-à-dire des courbes des différences entre 1990 et 1999, 1999 et 2008, et 1990 et 2008, concerne l'absence d'asymptote horizontale qui indique ainsi que la population peut encore continuer à s'étaler : on n'observe ainsi aucune perte de vitesse de la courbe en périphérie. Nous pouvons alors

qualifier l'étalement urbain de l'aire urbaine de Saint-Pierre d'étalement sans limite, par opposition au caractère limité et restreint de l'étalement de l'aire urbaine de Saint-Denis.

**Figure 4.10 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990-1999 et 1999-2008, Aire urbaine de Saint-Pierre**



Légende : idem figure 4.2, Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En guise de conclusion de cette partie, nous résumons l'analyse des trois aires urbaines : nous avons pu observer chacune des aires dans une analyse dynamique sur une période de 18 ans et constater ainsi un comportement différent par aire urbaine. En effet, alors que Saint-Denis est indéniablement contrainte physiquement, Saint-Paul- Le Port et Saint-Pierre affichent un territoire moins restreint et un étalement urbain plus expansif, qui dans le cas de Saint-Pierre, paraît même sans limite. Ainsi, face à ces tendances observées sur l'évolution des trois aires urbaines ces dernières années, nous proposons dans la partie suivante quelques scénarii d'évolution en 2030 en prenant en compte quelques changements structurants dont

l'ouverture de la Route des Tamarins en 2009 qui réduit les temps d'accès en périphérie de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port.

## **II. Quelles évolutions de l'étalement urbain en 2030 ? Quelques scénarios**

Dès la fin des années 1990, les travaux de prévision démographiques pour l'Île de La Réunion se sont multipliés, notamment au sein de l'INSEE. Ainsi, en 2002, dans le cadre de l'utilisation du modèle nationale Omphale<sup>23</sup>, Lardoux prévoit une population de 1 029 052 habitants en 2030. En 2008, de nouveaux scénarios sont mis en évidence par l'INSEE : le million démographique est toujours prévu en 2030 mais l'évolution des composantes, c'est-à-dire du niveau de natalité, de mortalité et des migrations évoluent différemment dans les deux scénarios. Ainsi, les prévisions de 2008 mettent en évidence l'importance des migrations pour le million démographique en 2030. De même, les tendances observées dans l'étude de 2008 permettent de mettre en évidence une progression du nombre de ménages plus importante que celle de la population. Cela signifie que la taille des ménages a tendance à diminuer, et par conséquent que la pression foncière risque d'augmenter avec une plus forte demande. Ainsi, les enjeux d'une prévision précise de l'augmentation de la population à l'échelle fine des quartiers IRIS sont importants afin de pouvoir éclairer les politiques d'aménagements futures et en cours sur l'Île. Cette partie propose donc quelques scénarios d'évolution sur les trois principales aires urbaines. Nous envisageons pour chacune des aires urbaines une évolution constante qui répète ainsi en 2030 les mêmes tendances qu'en 2008, 1999 et 1990. Dans le cas de Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre, au regard des tendances observées dans le chapitre 2 et 3, nous réalisons également un second scénario : dans le cas de Saint-Paul-Le Port, nous envisageons un scénario où la Route des Tamarins conduit à une configuration linéaire simple (pas de coupure entre la couronne et le centre), tandis que dans le cas de Saint-Pierre, nous envisageons une configuration polycentrique en 2030.

---

<sup>23</sup> Omphale est un outil méthodologique de prévision démographique et incluant des techniques d'analyses et outils de constructions de scénarios pour le futur. Omphale réalise ses scénarios à partir de trois composantes : natalité, mortalité et migrations.

[http://www.insee.fr/fr/ppp/sommaire/imet124\\_c\\_chapitre\\_1\\_1\\_application\\_omphale.pdf](http://www.insee.fr/fr/ppp/sommaire/imet124_c_chapitre_1_1_application_omphale.pdf)



## II.1 Méthodologie de prévision

La méthodologie de prévision adoptée se déroule en quatre étapes. La première étape consiste en une estimation de la part de la population de chacune des aires urbaines dans la population totale, par une régression non linéaire. Ce type de régression est choisi car il permet ici de produire les meilleurs coefficients de détermination sur les données disponibles. Le modèle polynomial d'ordre 2 est adopté :  $y = ax^2 + bx + c$

avec  $y$  la part de la population de chaque aire urbaine dans la population totale,  $x$  représente les années et  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont les coefficients de l'équation polynomiale.

Les données utilisées pour la régression sont les données de population pour les années 1990, 1999 et 2008 (données INSEE) ainsi que les données de population 2009, disponibles depuis récemment. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.1 et la figure 4.11. Nous pouvons constater une bonne représentativité des régressions avec des coefficients de détermination proche de 1. En 2030, 64.79% de la population réunionnaise résidera dans une des trois principales aires urbaines, contre 66.77% en 2009 et 67.6% en 1990.

**Tableau 4.1 : Estimation de la part de la population des aires urbaines dans la population totale en 2030 (Régression polynomiale d'ordre 2)**

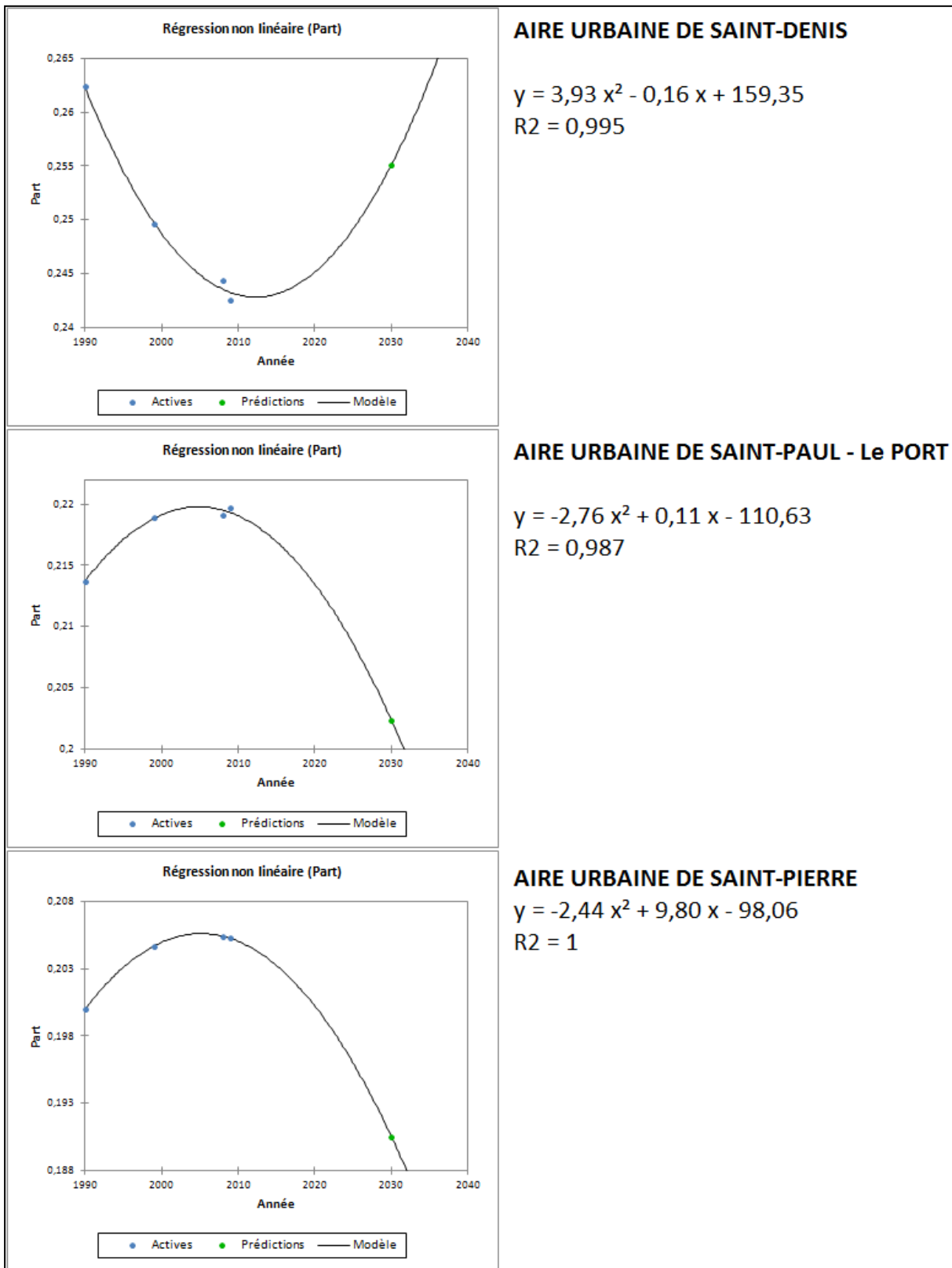
	Saint-Denis	Saint-Paul-Le Port	Saint-Pierre	Total aires urbaines
<b>1990</b>	26.23%	21.37%	20.00%	67.60 %
<b>1999</b>	24.97%	21.88%	20.47%	67.32 %
<b>2008</b>	24.35%	21.95%	20.54%	66.84 %
<b>2009</b>	24.32%	21.93%	20.52%	66.77 %
<b>Prévision 2030</b>	<b>25.51 %</b>	<b>20.23 %</b>	<b>19.05 %</b>	<b>64.79 %</b>
<b>R2</b>	0.995	0.987	1	

Conception : F. Bénard, 2012

Nous pouvons observer sur la figure 4.11 une différence de comportements entre la courbe de prévision de la part de la population de l'aire urbaine de Saint-Denis et les courbes de prévisions de la part de la population de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port et Saint-Denis. Les tendances mises en exergue dans le chapitre 2 expliquent ces différences : ainsi, les calculs effectués dans le chapitre 2 mettent en évidence le caractère contraint et limité de l'aire urbaine de Saint-Denis, qui limite ainsi les possibilités d'étalement et donc la croissance urbaine. Les aires urbaines de Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre affichent, au contraire, des possibilités d'extension. Notre estimation se base donc sur une augmentation de la part de la population des aires urbaines de Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre et une diminution de la part de la population de Saint-Denis.



**Figure 4.11 : Estimation de la part de la population de chaque aire urbaine en 2030, Régression polynomiale d'ordre 2**



Conception : F. Bénard, 2012

La deuxième étape de notre procédure de prévision consiste à générer les courbes de populations cumulées probables en 2030 à partir de nos scénarios. La génération des courbes s'effectuent à partir des modèles mis en exergue dans le chapitre 2, à savoir un modèle de type Bussière pour Saint-Denis, et une double régression linéaire pour Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre.

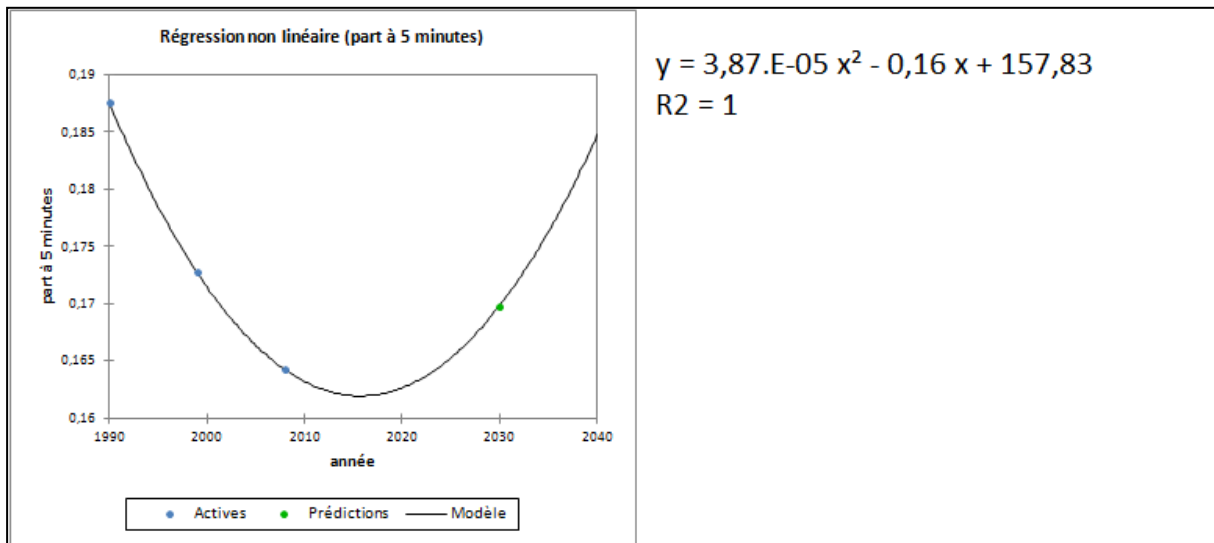
## **II.2 Aire urbaine de Saint-Denis : une densification du centre**

Pour l'aire urbaine de Saint-Denis, le scénario prévisionnel considère que l'aire urbaine poursuit son évolution, dans la continuité de la période 1990-2008. Nous nous basons sur une hypothèse centrale : selon nos estimations, en 2030, l'aire urbaine de Saint-Denis accueillera 25.51% de la population de la Réunion, soit une augmentation de 58 000 habitants par rapport à 2008.

L'évolution constante, envisagée dans ce scénario, considère une répartition constante de la population entre le centre et la périphérie. Le modèle calé dans le chapitre 2 mettait en exergue un centre étalé sur 2 minutes ; néanmoins, lors de l'analyse dynamique réalisée dans la première partie de ce présent chapitre, nous avons pu constater une perte de population lors de la période 1990-2008 sur un rayon de 5 minutes autour de l'IRIS centre. Nous choisissons par conséquent de choisir le seuil de 5 minutes autour de l'IRIS-centre pour délimiter la zone centre-ville.

L'estimation de la part de la population centrale en 2030 s'effectue au moyen d'une régression non linéaire, qui est le type de régression fournissant les meilleurs résultats sur les données utilisées. Ces données sont les données de population cumulées calculées dans le chapitre 2 par la régression de type Bussière en 1990, 1999 et 2008. Le modèle de régression le plus adapté est la régression polynomiale d'ordre 2 qui fournit un coefficient de détermination de 1 et qui estime ainsi la part de la population centrale en 2030 à 16.98% (figure 4.12).

**Figure 4.12 : Estimation de la part de la population centrale de l'aire urbaine de Saint-Denis en 2030, scénario 1, régression polynomiale d'ordre 2**

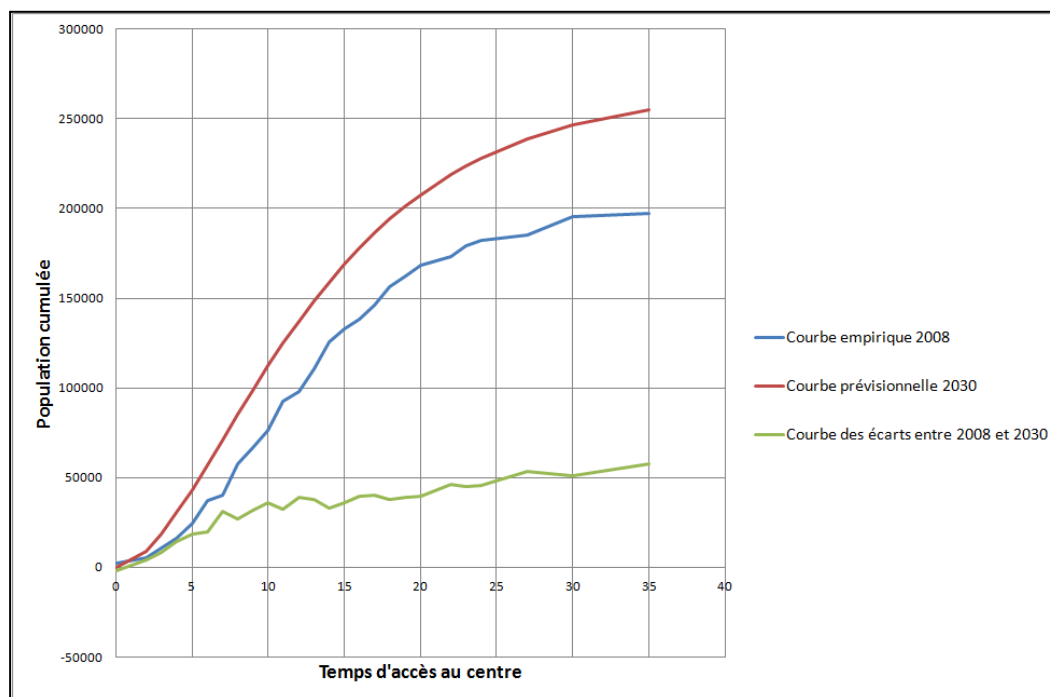


Conception : F. Bénard, 2012

Ainsi, notre estimation prévoit une population centrale en 2030 représentant 16.98% de la population totale de l'aire urbaine, soit 43 000 habitants.

L'adaptation du modèle calé au chapitre 2 aux données de population en 2030, permet de mettre en évidence un gradient de densité de 0.14, ce qui est cohérent avec les valeurs prises en 1990, 1999 et 2008 (pour rappel les gradients étaient respectivement de 0.15, 0.14 et 0.14) et l'hypothèse de continuité choisie pour ce scénario. La carte 4.5 permet de visualiser les densités prévisionnelles en 2030, selon le scénario 1. Les densités ont été construites à partir de la comparaison des courbes de population cumulée de 2008 et 2030, qui mettent en évidence un écart de population (Figure 4.13), que nous redistribuons à chaque IRIS pour permettre le calcul des densités en 2030.

**Figure 4.13 : Comparaison des courbes de population cumulée en 2008 et de la courbe prévisionnelle de population cumulée en 2030, Aire urbaine de Saint-Denis, Scénario 1**



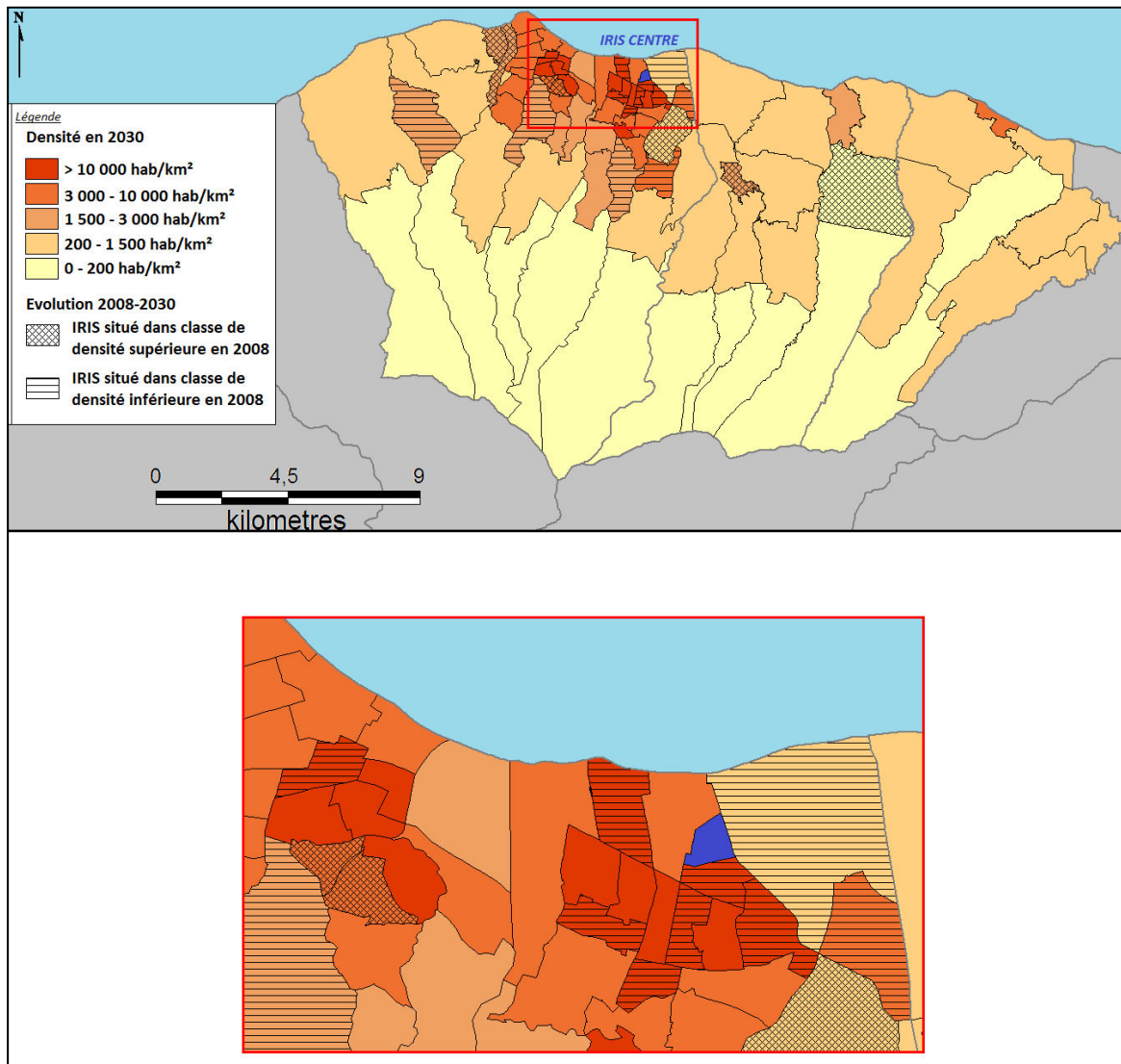
Conception : F. Bénard, 2012

L'observation de la carte 4.5 permet une série de constat : dans un premier temps nous remarquons qu'en 2030, seul un IRIS situé à Sainte-Marie reste rural (densité inférieure à 200 hab/km<sup>2</sup>). Les autres IRIS ruraux observés sur la carte sont des IRIS d'altitude qui ont été exclus de l'analyse effectuée dans le chapitre 2 car il ne s'agit pas d'IRIS résidentiels mais d'IRIS qualifiés « Divers » par l'INSEE, correspondant à des zones à végétation dense. Dans un second temps, nous constatons qu'un grand nombre d'IRIS se situait dans une classe moins dense en 2008 qu'en 2030. Pour sept d'entre eux, il s'agit d'IRIS progressant d'une classe dense (entre 3000 et 10 000 hab/km<sup>2</sup>) à une classe très dense (> 10 000 hab/km<sup>2</sup>). Ces IRIS se situent à proximité de l'IRIS centre (en bleu sur la carte). Les autres IRIS enregistrant une croissance significative de leur densité (c'est-à-dire qu'ils se localisent en 2030 dans une classe de densité supérieure à 2008), progresse d'un état moyennement dense (entre 1500 et 3000 hab/km<sup>2</sup>) à dense pour deux d'entre eux, d'un état peu dense (entre 200 et 1500 hab/km<sup>2</sup>) à moyennement dense pour trois d'entre eux et d'un état rural (inférieur à 200 hab/km<sup>2</sup>) à peu dense pour un IRIS (situé à l'Est de l'IRIS centre auquel il est contigu), qui correspond en fait à un IRIS classé « Activité » par l'INSEE : la zone industrielle du Chaudron. Nous constatons ainsi que l'augmentation des densités concerne essentiellement des IRIS déjà denses, seul un IRIS classé rural en 2008 voit sa densité augmenter. Néanmoins, il ne s'agit pas véritablement d'un IRIS rural au sens strict du terme : c'est un IRIS correspondant à une zone d'activité situé en zone urbaine. Dans un troisième temps, nous constatons également une baisse de densité dans un certain nombre d'IRIS (sept en tout), localisés en majorité dans un rayon proche de l'IRIS centre.

Ce scénario n'est pas un scénario de densification qui changera la configuration urbaine de l'aire urbaine de Saint-Denis. En effet, nous constatons que les changements significatifs de

densité, c'est-à-dire le changement de classe de densité, s'effectuent en majorité dans une zone proche du centre, dans la commune de Saint-Denis : ainsi, 55% de la population additionnelle en 2030 (par rapport à 2008) est injectée dans un rayon de 9 minutes autour de l'IRIS centre. L'augmentation des densités s'effectue à 69% sur des espaces déjà denses. Ainsi, nous pouvons conclure que, dans le scénario 1, la croissance urbaine de l'aire urbaine de Saint-Denis, se traduit par une densification d'espaces déjà denses.

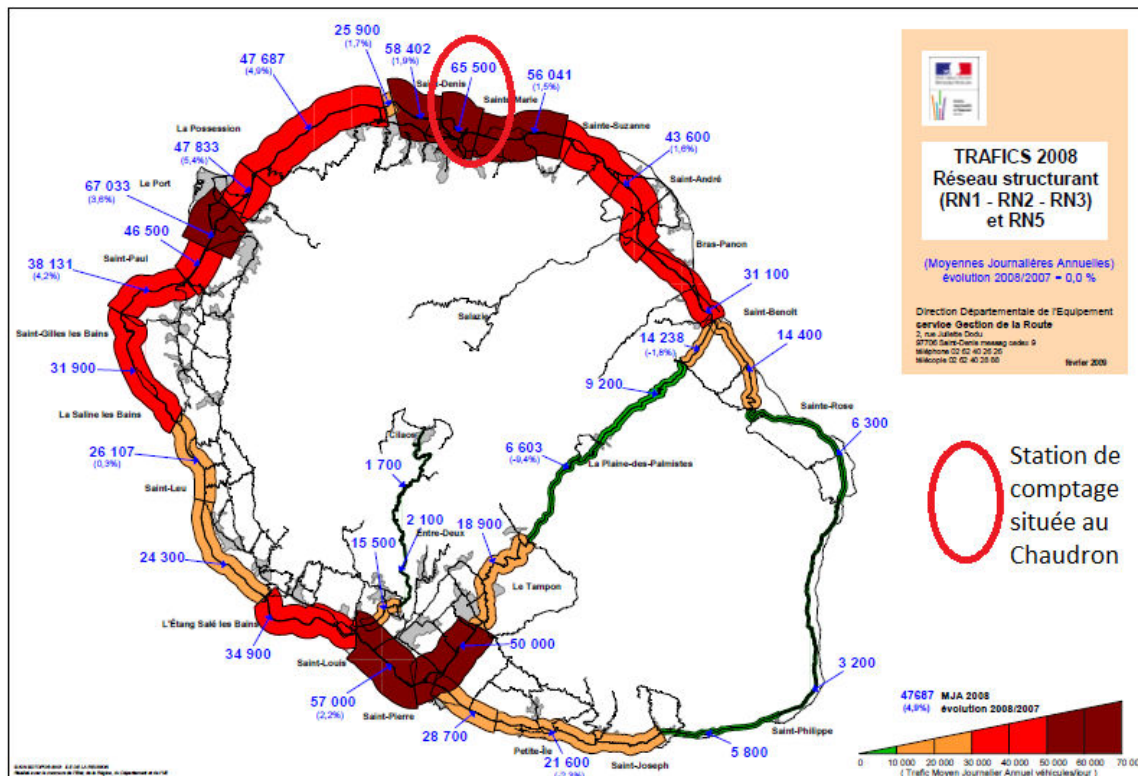
**Carte 4.5 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Denis en 2030 (Scénario 1)**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 20112

Une question se pose alors : quelles sont les conséquences de cette répartition de la population en matière de transport ? Nous nous intéressons plus particulièrement à l'aspect trafic de l'aire urbaine. En effet, l'aire urbaine de Saint-Denis contient l'un des trois gros nœuds de trafic de l'île : ainsi, en moyenne, en 2008, la station de comptage du Chaudron accueille 65 500 véhicules par jour.

**Carte 4.6 : Trafics journaliers moyen en 2008 sur le réseau routier structurant de l'Île de La Réunion**



Source : Direction Départementale de l'Équipement, Service Gestion de la Route, 2009

Une comparaison des migrations alternantes de commune à commune aux données de trafic en 2008 permet de constater une bonne adéquation entre trafic et migrations alternantes. Ainsi, en considérant deux stations de comptage dans l'aire urbaine de Saint-Denis, l'une localisée sur la route longeant le littoral (station du Chaudron), l'autre située au même niveau mais sur le boulevard périphérique appelé Boulevard Sud. Les deux stations se localisent à l'Est de la commune de Saint-Denis et captent ainsi l'essentiel des flux en provenance de l'Est, c'est-à-dire des communes périphériques de l'aire urbaine (Sainte-Marie et Sainte-Suzanne) et des autres communes de l'Est : Saint-André et Saint-Benoît par exemple. Nous pouvons constater à la lecture du tableau 4.2 que les migrations alternantes en provenance de l'Est de l'Île et à destination de la commune de Saint-Denis correspondent à quelques centaines près aux données de trafic en heure de pointe : entre 5H00 et 9H00 le matin et entre 15H00 et 18H00 le soir. Nous pouvons constater également une différence entre le flux Est-Ouest du matin et le flux Ouest-Est du soir, qui s'explique probablement par la présence dans la zone aéroportuaire de Gillot (IRIS 284 dénommé Gillot La Mare Duparc, cf. Annexe 3) d'un certain nombre de grandes surfaces (grande distribution) généralement très fréquentées après 16h.

**Tableau 4.2 : Comparaisons des données de trafic et données de migrations alternantes (communes de l'Est vers Saint-Denis)**

	5H-9H	15H-18H	<i>Données de trafic prélevées en novembre 2008</i>
	Sens Est-Ouest	Sens Ouest-Est	
<b>Station Chaudron</b>	6 122	8 894	
<b>Station Boulevard Sud</b>	5 387	4 489	
<b>Somme</b>	<b>11 509</b>	<b>13 383</b>	

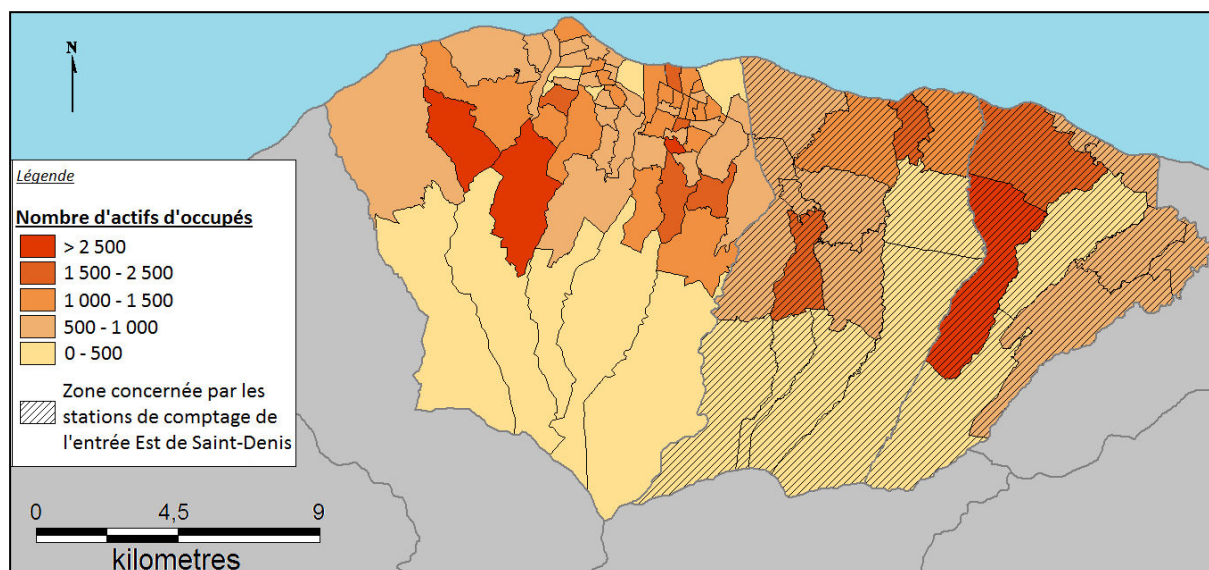
**Migrations alternantes en direction de Saint-Denis : 12 449**

Source : INSEE 2008, Direction Régionale des Routes, 2008, Conception : F. Bénard, 2012

Ainsi, le trafic journalier constaté dans l'aire urbaine de Saint-Denis semble pouvoir s'expliquer par les migrations alternantes. Sur la base de ce constat et des données de densités prévisionnelles de 2030, nous pouvons tenter une estimation des migrations alternantes ayant pour origine les communes de Sainte-Marie et Sainte-Suzanne, et pour destination, la commune de Saint-Denis.

En analysant sur les données de 2008, la part des actifs occupés de Sainte-Suzanne et Sainte-Marie travaillant dans la commune de Saint-Denis, nous constatons que 33,6% de la population active occupée de Sainte-Suzanne 47,16% de la population active occupée de Sainte-Marie travaille à Saint-Denis. Nous estimons de même, la population active occupée de chaque IRIS en 2030 à partir des données de 2008, en reprenant la même répartition de la population active occupée dans la population totale. Nous obtenons la carte prévisionnelle suivante :

**Carte 4.7 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Denis, scénario 1**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 20112



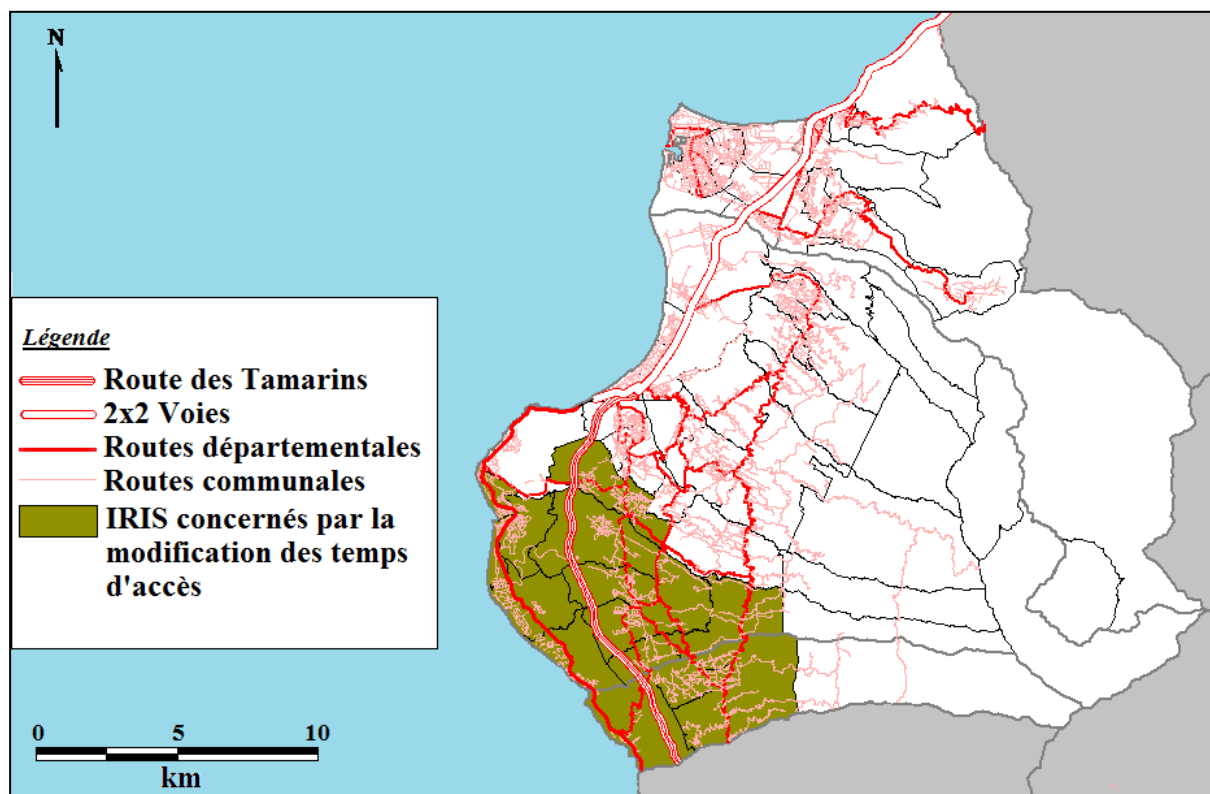
En considérant les IRIS susceptibles de générer des flux à destination de Saint-Denis et pour lesquels nous pouvons estimer les migrations alternantes sur la base des données 2008 (en hachuré sur la carte), nous pouvons prédire une augmentation de trafic de 15 000 véhicules par jour dû à la croissance urbaine de l'aire urbaine de Saint-Denis. Cette augmentation de trafic se répartit sur la station du Chaudron (cf. Carte 4.6) et la station se trouvant à même hauteur sur le Boulevard Sud : la répartition se fait à 55 % pour la station du Chaudron et 45% pour la station sur le Boulevard Sud. Ainsi, le flux de 65 500 véhicules observé en 2008 sur la station du Chaudron (cf. Carte 4.6), se voit augmenter de 30 000 véhicules en 2030 (les deux sens confondus) dû à la croissance urbaine de l'aire urbaine de Saint-Denis. Ce chiffre ne considérant que les flux en provenance de Sainte-Marie et Sainte-Suzanne, il devrait en réalité être plus élevé si toutes les communes de l'Est étaient incluses dans l'analyse. La commune de Saint-Denis souffre d'un problème de congestion dans la zone et déjà en 2008, les pouvoirs politiques en place, parlaient déjà de réseau saturé. La saturation devrait augmenter en 2030, ce qui alerte ainsi sur l'urgence d'une politique d'une réflexion transport urbanisme dans l'aire urbaine de Saint-Denis.

### **II.3 Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port : un étalement urbain en deux temps ou un étalement urbain continu favorisé par la route des Tamarins**

L'étude réalisée dans le cadre de cette thèse porte sur des données INSEE des années 1990, 1999 et 2008. Or, en juin 2009, la Route des Tamarins, route reliant Saint-Paul à l'Etang-Salé, a été ouverte à la circulation. Cette ouverture entraîne la modification de l'accessibilité au sein de l'aire urbaine avec de nouvelles possibilités d'itinéraire, notamment pour les IRIS situés au sud-est de l'aire urbaine (Carte 4.8). Ainsi, quinze IRIS au total voient leurs temps d'accès au centre diminuer. L'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port s'étend maintenant sur un rayon de 36 minutes (contre 40 sans la Route des Tamarins).



**Carte 4.8 : IRIS concernés par la modification des temps d'accès, due à la Route des Tamarins**



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Le test de cette nouvelle accessibilité est effectué en utilisant les données 2008, bien que la route n'ait été ouverte à la circulation qu'un an plus tard. La courbe de population cumulée en 2008 en fonction des temps d'accès comprenant la Route des Tamarins fait toujours apparaître une progression en deux temps et donc une double régression linéaire. La modification des temps d'accès ne concerne en effet que des IRIS situés en couronne, au-delà de 19 minutes.

Deux scénarios ont été envisagés pour Saint-Paul-Le Port : le premier scénario considère que l'aire urbaine poursuit son évolution, dans la continuité de la période 1990-2008. Il considère donc une zone centrale s'étalant sur un rayon de 16 minutes autour de l'IRIS-centre : il analyse donc la part de la population répartie dans la zone centrale en 1990, 1999 et 2008, afin d'estimer par une régression linéaire la part de cette population en 2030, soit 33.59%. Le second scénario considère qu'il n'y a plus de rupture à 16 minutes du centre. En effet, cette rupture coïncidait avec la fin de la 2x2 voies (cf. Chapitre 3); or, avec la Route des Tamarins, l'aire urbaine bénéficie d'une 2x2 voies la parcourant entièrement (du Sud au Nord) (cf. Carte 4.8) qui pourrait permettre de remettre en question la fin de la rupture observée à 16 minutes. Par conséquent, le scénario 2 propose une régression linéaire simple.

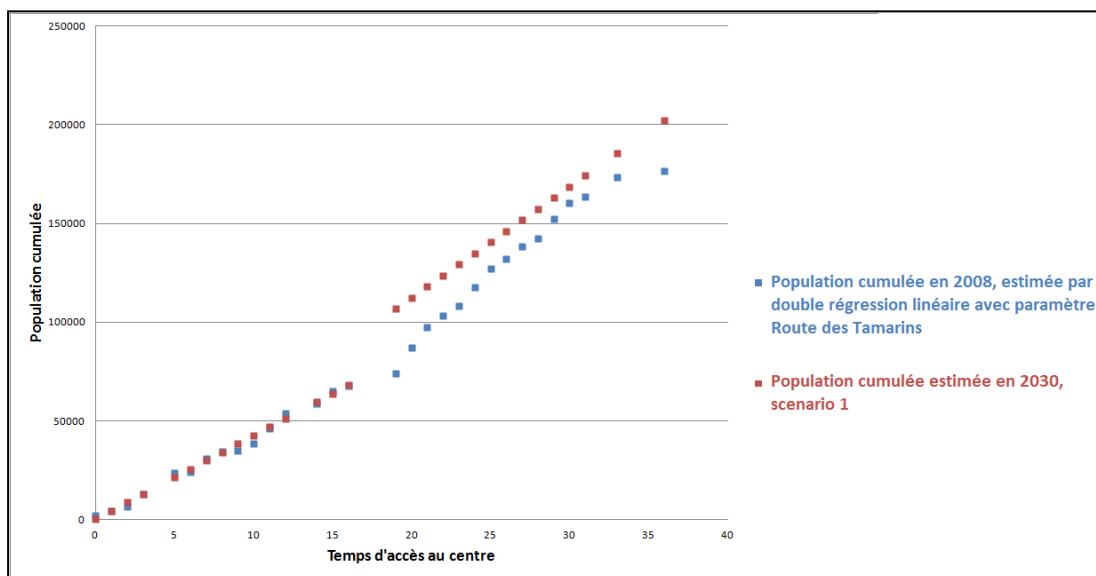
### **Scénario 1**

Le scénario 1 est donc basé sur 3 hypothèses :

- la population totale de l'aire urbaine représente 20,23% de la population totale, soit 202 mille habitants :
- la zone centre comprend 33.59% de la population totale, soit 67 mille habitants ;
- l'aire urbaine enregistre une population additionnelle de 25 mille habitants par rapport à 2008.

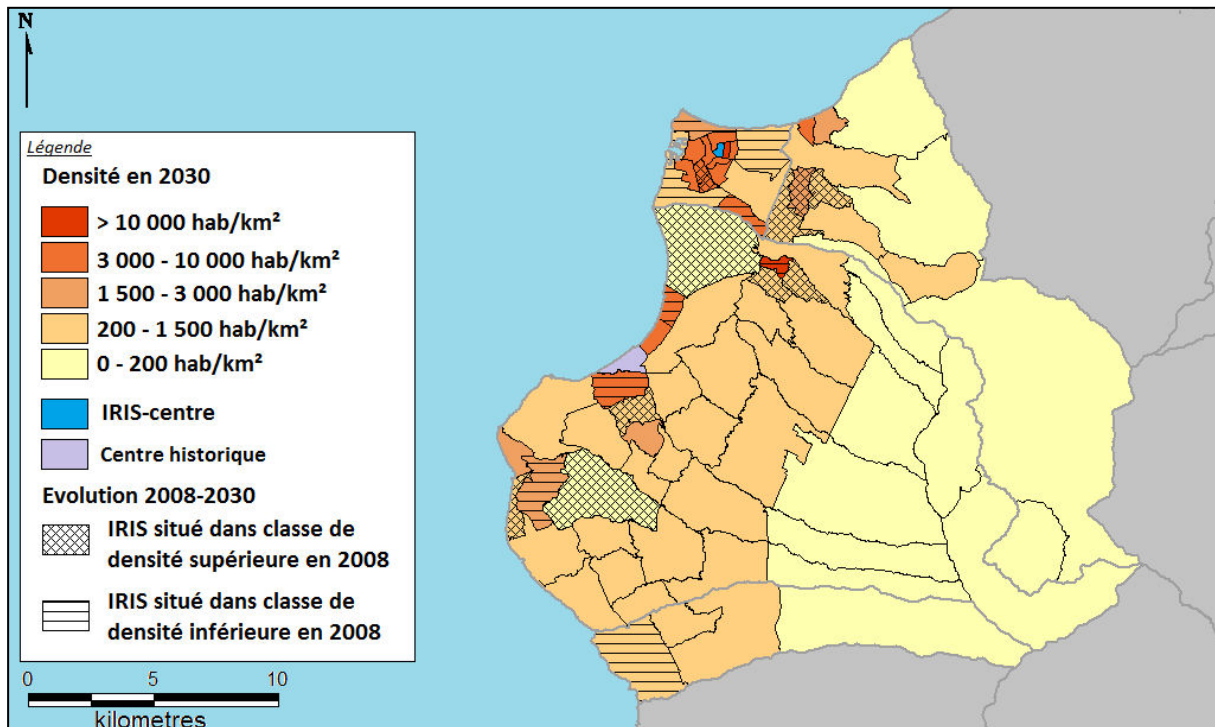
Nous pouvons constater à l'observation de la figure 4.14, que le scénario 1 injecte la population additionnelle majoritairement en couronne. Néanmoins, raisonnant sur des populations cumulées en fonction des temps d'accès au centre nous pouvons trouver un grand nombre d'IRIS au même pas de temps : par exemple, à 20 minutes du centre, nous situons 4 IRIS différents qui doivent donc se partager la population additionnelle estimée à 20 minutes par le scénario 1. Cela signifie ainsi, qu'à certain pas de temps, la population additionnelle doit être partagée entre un grand nombre d'IRIS et qu'ainsi l'augmentation par IRIS n'est pas forcément très élevée. D'ailleurs, nous observons, à la lecture de la carte 4.9, qu'en réalité, un certain nombre d'IRIS perdent en population. En effet, avec la courbe de population cumulée 2030, nous pouvons estimer la population par IRIS en 2030 par simple soustraction à chaque pas de temps. Ainsi, nous remarquons qu'un certain nombre d'IRIS perdent en population et donc descendent d'une classe de densité, notamment dans la zone jouxtant la commune du Port. On constate globalement que les IRIS qui progressent en termes de classe de densité se localisent dans la commune du Port, aux abords de l'IRIS centre et au centre-ville historique de la ville de Saint-Paul. Majoritairement, il y a très peu de migration de classes de densité : la majorité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Paul restent classés peu denses avec une densité allant de 200 à 1 500 hab/km<sup>2</sup>. Avec onze IRIS descendant de classes de densité et dix IRIS progressant de classe, globalement, dans le scénario 1, les équilibres de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030 sont maintenus.

**Figure 4.14 : Courbe de population cumulée en 2030 à Saint-Paul-Le Port, Résultat du scénario 1**



Conception : F. Bénard, 2012

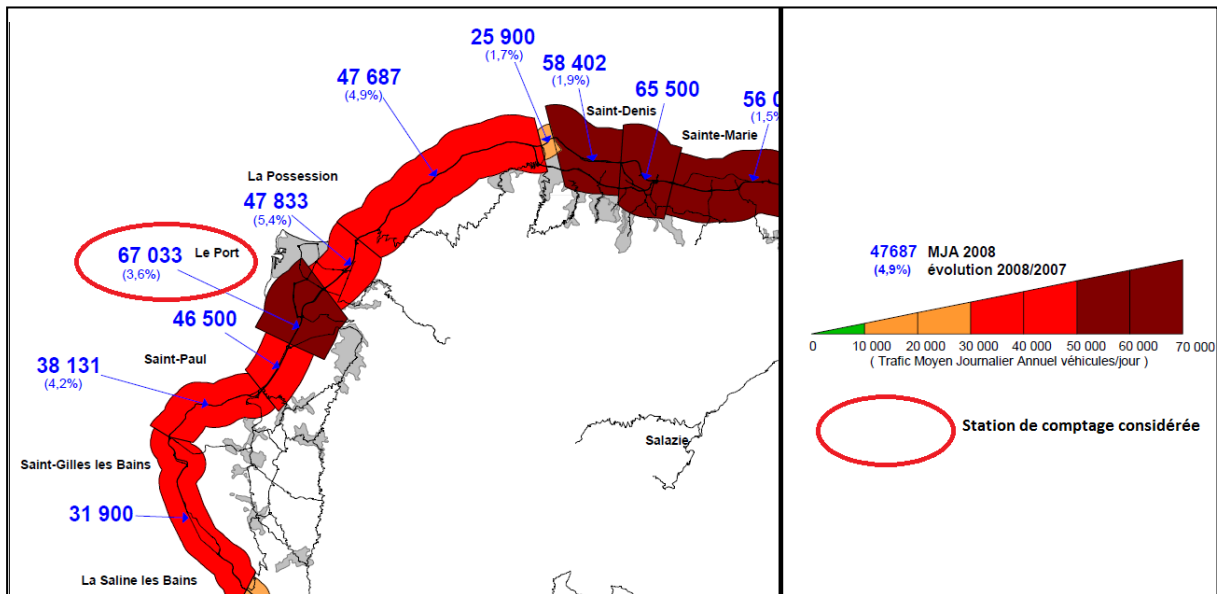
**Carte 4.9 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030 (Scénario 1)**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

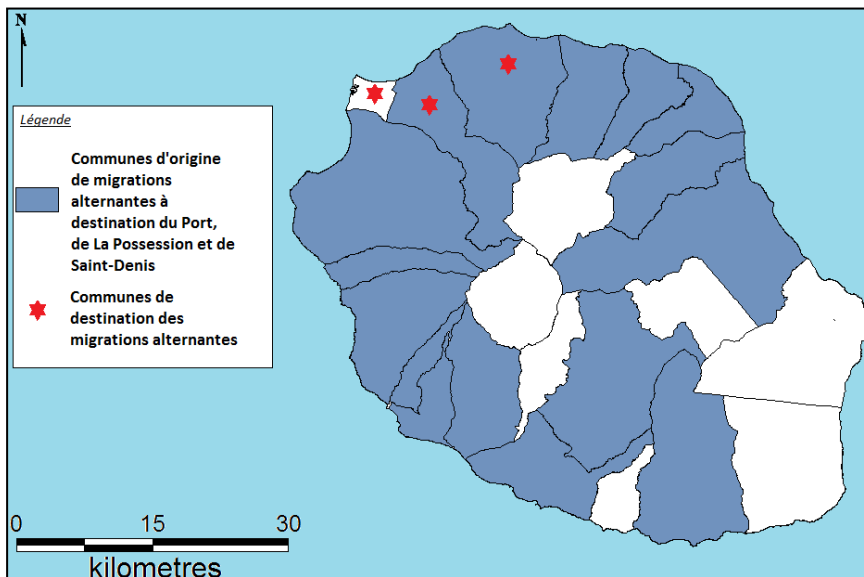
L'estimation du trafic prévisionnel dans la zone, ne peut se faire avec la méthode utilisée pour l'aire urbaine de Saint-Denis, dans le cadre de ce travail, faute de données. En effet, nous ne pouvons comparer les données de migrations alternantes aux flux horaires précis d'une station de comptage. Néanmoins nous disposons, pour 2008, du trafic journalier moyen par station (Carte 4.10). Ainsi, en 2008, la station de comptage du Port, située sur la 2x2 voies, enregistrent un flux journalier moyen de 67 033 véhicules. En considérant, qu'à l'instar de l'aire urbaine de Saint-Denis, il existe une bonne adéquation entre données de trafic et données de migrations alternantes, nous pouvons estimer l'augmentation du trafic dû à la croissance urbaine de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030. Ainsi, nous considérons les flux de migrations alternantes à destination de Saint-Denis, du Port et de La Possession et ayant pour origine 16 communes de l'Île (Carte 4.11). Nous étudions scrupuleusement les couples origine-destination susceptibles de concerner la station étudiée : ainsi les couples origine-destination Le Port-Saint-Denis ou Le Port- La Possession ont été ignorés par exemple. Nous considérons donc un flux journalier de 20 500 déplacements domicile-travail en 2008 (données INSEE). Les migrations alternantes doivent être étudiées en double-compte (un flux le matin et un flux le soir), c'est donc un trafic de 41 000 véhicules par jour dû aux migrations alternantes, qui doit être considéré pour la station du Port, soit 61.2 % du trafic. Sur ces 41 000 véhicules, 27 000 sont attribués à l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, soit 65.9%.

**Carte 4.10 : Trafic moyen journalier annuel, zone Nord-Ouest, 2008**



Source : Direction Départementale de l'Équipement, Service Gestion de la Route, 2009

**Carte 4.11 : Migrations alternantes intercommunales susceptibles de concerner la station de comptage du Port**



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En considérant qu'en 2030, la part des actifs occupés dans la population totale par IRIS suit la même distribution qu'en 2008, nous pouvons estimer le nombre d'actifs occupés en 2030 pour le scénario 1 (Carte 4.12). En supposant de même, que les couples origine-destination pour motif travail sont les mêmes en 2030 qu'en 2008, nous pouvons estimer le nombre d'actifs occupés des IRIS des communes de Saint-Paul, Trois Bassins et La Possession travaillant au Port, à La Possession et à Saint-Denis (pour rappel, nous ne considérons en effet que les couples origine-destination susceptibles de concerner la station de comptage du Port). Ainsi, en 2008 nous avons 34.1% de la population active de La Possession, 30.3% de la

population active de Saint-Paul et 19.7% de la population active de Trois Bassins susceptibles de produire un flux passant par la station de comptage du Port (Tableau 4.3).

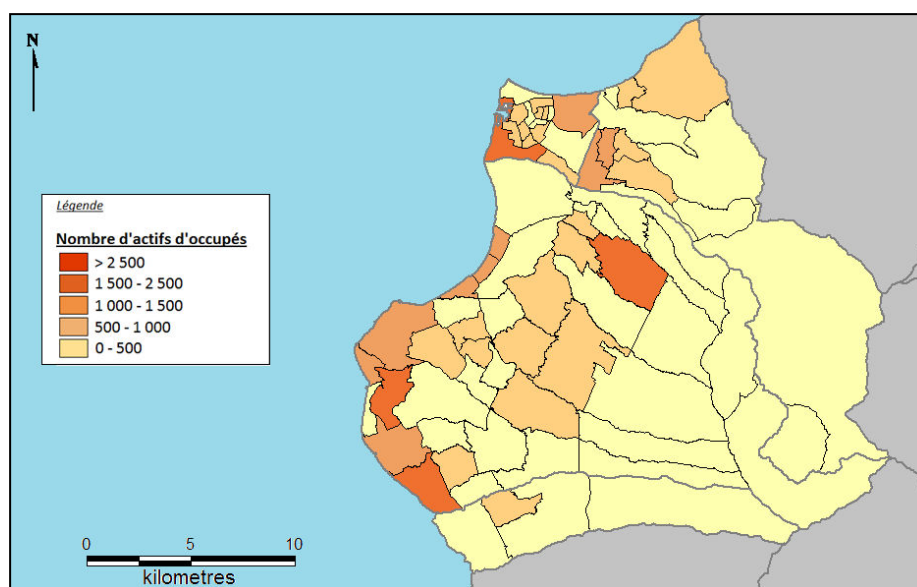
**Tableau 4.3 : Migrations alternantes de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2008, couples origine-destination influençant la station de comptage du Port**

Destination \ Origine	La Port	Saint-Denis	La Possession	TOTAL
La Possession	34,1%	0,00%	0,00%	34,1%
Saint-Paul	15,8%	11,2%	3,3%	30,3%
Les Trois Bassins	11,5%	8,2%	0,00%	19,7%

Source : INSEE 2008, Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Sur la base de ces hypothèses, nous considérons ainsi qu'en 2030, l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port générera un trafic de 29 870 véhicules par jour passant par la station de comptage du Port, soit 2 870 véhicules supplémentaires. Le nombre de véhicules supplémentaires n'a augmenté que de 10.6 % mais ce chiffre doit être revu à la hausse, car il ne considère que la croissance urbaine de l'aire urbaine du Port. De plus, il s'agit d'une zone où le trafic est déjà saturé aux heures de pointe avec des kilomètres d'embouteillage visible : une augmentation de trafic de 10,6 % est donc problématique. De même qu'à Saint-Denis, un modèle transport-urbanisme pourrait ici analyser la problématique de développement urbain de Saint-Paul-Le Port dans son ensemble et mettre en exergue des solutions possibles.

**Carte 4.12 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par IRIS en 2030 selon le scénario 1, Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

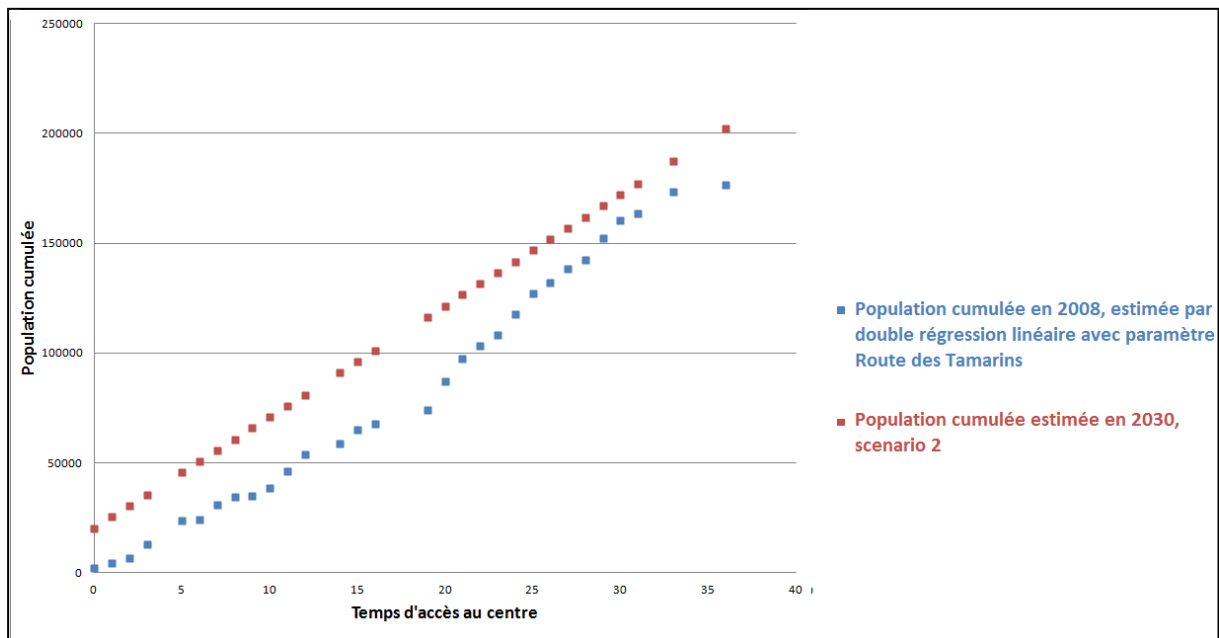
## Scénario 2

Le scénario 2 est fondé sur deux hypothèses principales. La première hypothèse est similaire au scénario précédent : nous estimons que la population totale de l'aire urbaine représente 20,23% de la population totale, soit 202 mille habitants en 2030, ce qui implique une population additionnelle de 25 mille habitants par rapport à 2008. La deuxième hypothèse

réside dans le mode d'estimation de la répartition prévisionnelle de la population en 2030. La Route des Tamarins change en effet les paramètres d'accessibilité et vient créer un réseau continu de 2x2 voies sur le territoire de l'aire urbaine. La rupture observée en 1990, 1999 et 2008 à 16 minutes du centre, coïncidant avec la fin de la 2x2 voies n'a donc plus lieu d'être : nous proposons ainsi une régression linéaire simple.

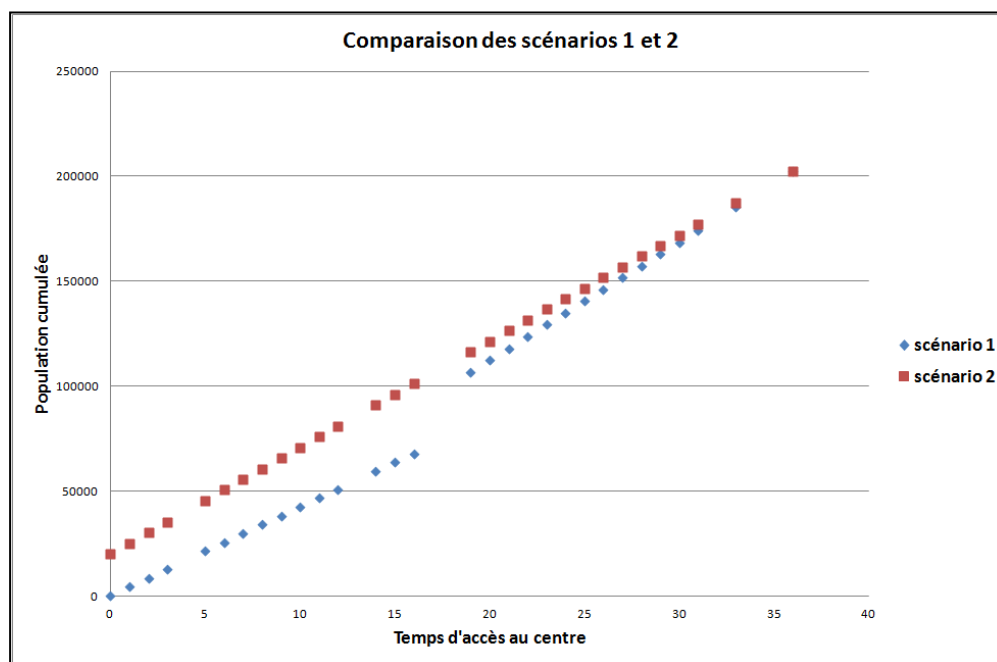
La comparaison des figures 4.15 et 4.16 permet de voir la différence de traitement de la zone centre dans les deux scénarios. En effet, alors que le scénario 1 considérait un comportement de la zone centre similaire au comportement de 2008, le scénario 2 met en exergue une densification du centre : la population additionnelle s'installe majoritairement dans la zone centre. La figure 4.17 permet bien de mettre en évidence cette différence de comportement du centre.

**Figure 4.15 : Courbe de population cumulée en 2030 à Saint-Paul-Le Port, Résultat du scénario 2**



Conception : F. Bénard, 2012

**Figure 4.16 : Comparaison des scénarios 1 et 2 de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



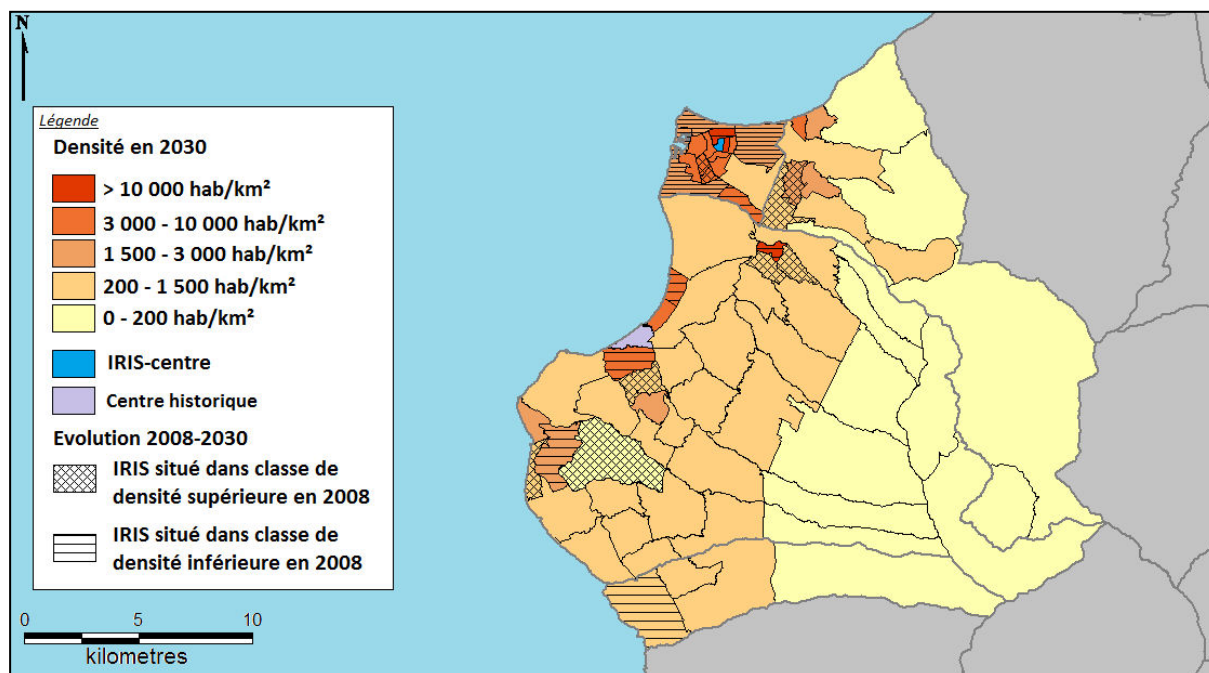
Conception : F. Bénard, 2012

Ce résultat peut paraître curieux : en effet, l'ouverture de la Route des Tamarins réduit les temps d'accès, ce qui devrait favoriser l'étalement urbain. Or, cet étalement n'est pas visible dans le scénario 2, où, au contraire, le centre se densifie. Ce fait trouve son explication dans la fonction même de la Route des Tamarins. En effet, la Route des Tamarins a pour objectif de réduire les temps d'accès entre l'Ouest et le Sud : entre Saint-Paul et l'Étang-Salé, et indirectement entre le Nord et le Sud en permettant un réseau de 2x2 voies intégral entre le Nord et le Sud. D'ailleurs, à l'observation de la carte 4.8 vue précédemment, nous pouvons constater que seul un faible nombre d'IRIS voit leur accessibilité augmenter grâce à la Route des Tamarins.

À l'observation de la traduction spatiale de la densification du centre dans le scénario 2, la différence au scénario 1 est moins évidente (Carte 4.10). En effet, en observant les progressions en termes de classes de densité, nous remarquons que les IRIS qui perdent une classe de densité et ceux qui progressent de classes sont globalement les mêmes que dans le scénario 1. Concrètement, la zone de la commune du Port se densifie et un certain nombre d'IRIS se positionnent en tant qu'IRIS moyennement denses en 2030 (entre 1 500 et 3 000 hab/km<sup>2</sup>). Un changement significatif apparaît dans l'IRIS nommé Le Stade-Cambaie qui jouxte la commune du Port du côté de Saint-Paul : alors qu'il perd en densité dans le scénario 1, il se maintient en IRIS peu dense dans le scénario 2. Dans le scénario 2, comme dans le scénario 1, la majorité des IRIS sont des IRIS peu denses avec une densité de population ne dépassant pas les 3 000 hab/km<sup>2</sup>.



**Carte 4.13 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030 (Scénario 2)**

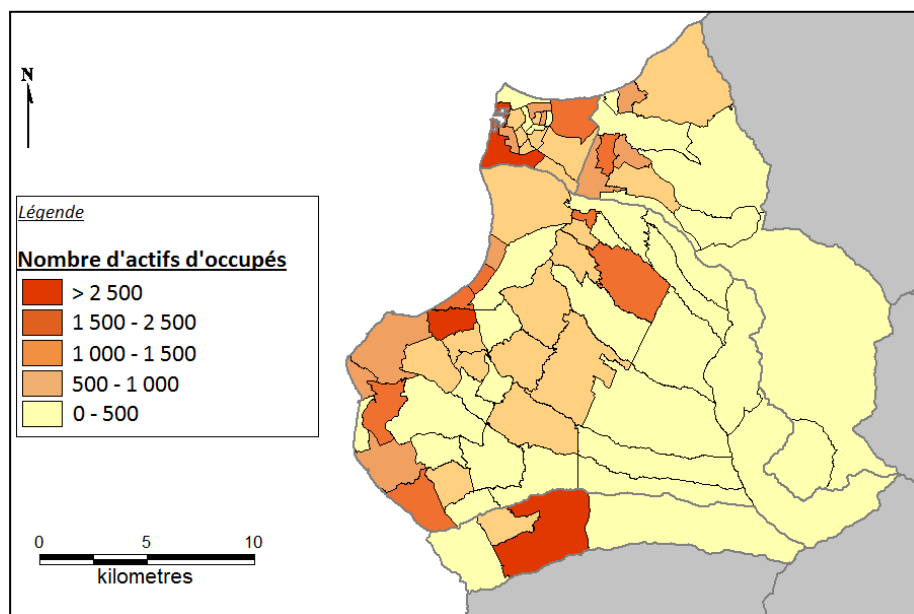


Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En termes de trafic, nous pouvons, avec la même méthodologie employée pour le scénario 1, estimer d'une part le nombre d'actifs occupés de l'aire urbaine, par IRIS en 2030 (carte 4.14), et d'autre part estimer la part de ces actifs occupés qui vont générer un flux passant par la station de comptage du Port. Pour rappel, il s'agit des couples origine-destination énoncés dans le tableau 4.3. Selon les données du scénario 2, en 2030, l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port générera un trafic de 27 100 véhicules par jour passant par la station de comptage du Port, soit seulement 100 véhicules supplémentaires par rapport à 2008. Ainsi, l'organisation urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030, mise en évidence par le scénario 2, permet une stabilisation du trafic généré par les migrations alternantes de l'aire urbaine. En effet, le scénario 2 a plutôt tendance à densifier le centre tandis que le scénario 1 densifie la périphérie (cf. figures 4.14, 4.15 et 4.16). Or le centre génère peu de trafic incluant la station de comptage du Port.



**Carte 4.14 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par IRIS en 2030 selon le scénario 2, Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port**



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En conclusion pour l'aire urbaine de Saint-Paul, les chapitres 2 et 3 avaient mis en évidence les enjeux de la problématique de l'étalement urbain dans l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port. En effet, l'aire urbaine enregistre jusqu'en 2008 très peu de fortes densités et le bâti suit scrupuleusement le réseau routier principal dans la tradition des villes-rues. Les scénarios d'évolution mis en place dans le chapitre présent font apparaître peu d'évolutions quant à l'organisation urbaine de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port. La problématique de l'étalement urbain à Saint-Paul-Le Port est bel et bien liée à son réseau de transport, l'ouverture de la Route des Tamarins ne faisant que confirmer le développement en ville-rue. Ainsi, à Saint-Paul, outre une politique de densification qui est menée par les pouvoirs politiques en place, la limitation de l'étalement urbain devra surtout passer par une structuration du réseau routier, avec par exemple une progression des voies principales vers les mi-hauts et donc la construction de nouvelles routes ou le réaménagement de certaines routes. Un modèle d'analyse transport-urbanisme adapté pourrait ainsi constituer un bon outil de prospection pour analyser ce type de politique.

## **II.4 Aire urbaine de Saint-Pierre : évolution constante ou densification des centres**

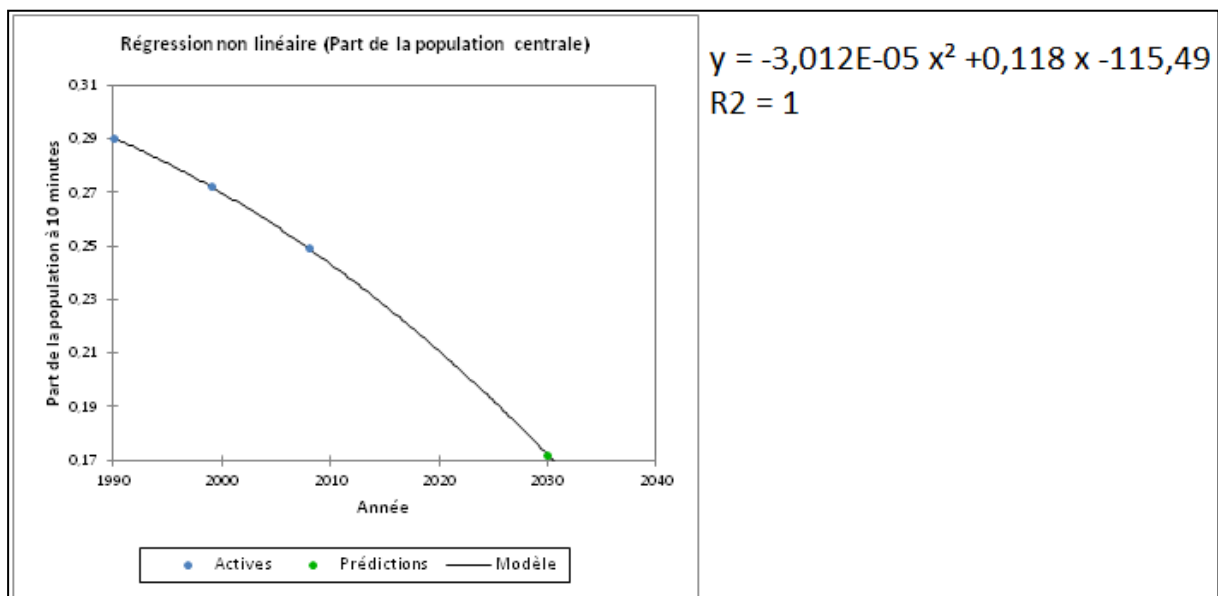
Le chapitre 2 avait fait apparaître pour l'aire urbaine de Saint-Pierre l'émergence de centres secondaires au Tampon et à la Ravine des Cabris. Nous avons donc envisagés deux scénarios pour le cas de Saint-Pierre : un premier scénario où nous considérons une évolution conforme

à l'évolution réalisée sur la période 1990-2008, sur la base d'un modèle monocentrique linéaire en deux temps ; et un second scénario où nous considérons un espace polycentrique.

### **Scénario 1**

Ce premier scénario suppose que l'aire urbaine continue d'évoluer sur la même lancée que sur la période 1990-2008. Ainsi, nous considérons, pour ce premier scénario, une régression linéaire en deux temps avec une première zone courant de 0 à 10 minutes du centre et une seconde zone au-delà de 10 minutes. A l'instar de Saint-Denis et Saint-Paul, l'estimation de la part de la population centrale en 2030 s'effectue au moyen d'une régression non linéaire. C'est précisément la régression polynomiale qui est choisie : en effet en se basant sur les données de population cumulée de 1990, 1999 et 2008 mises en exergue dans le chapitre 2, c'est le type de régression qui fournit le meilleur coefficient de détermination. La part de la population centrale en 2030 est alors estimée à 17.22% (Figure 4.17).

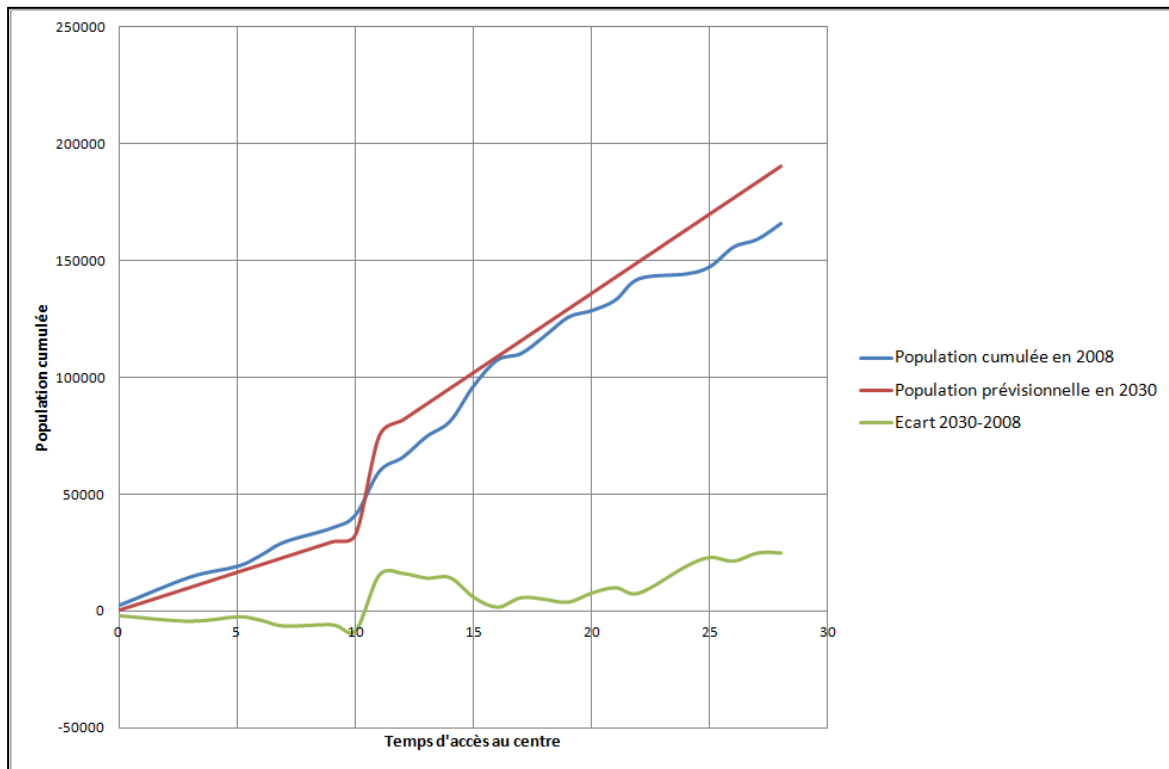
**Figure 4.17 : Estimation de la part de la population centrale de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030, scénario 1, régression polynomiale d'ordre 2**



Conception : F. Bénard, 2012

Sur la base de cette hypothèse, de l'hypothèse de continuité et de l'hypothèse d'une population de l'aire urbaine représentant 19.05% de la population totale de l'île en 2030 (cf. Tableau 4.1), nous calculons la courbe de population cumulée prévisionnelle en 2030. La comparaison de cette courbe et de la courbe de population cumulée de 2008 permet de mettre en évidence un écart (Figure 4.18) qui va être redistribué à chaque IRIS afin de calculer les densités prévisionnelles (Carte 4.15).

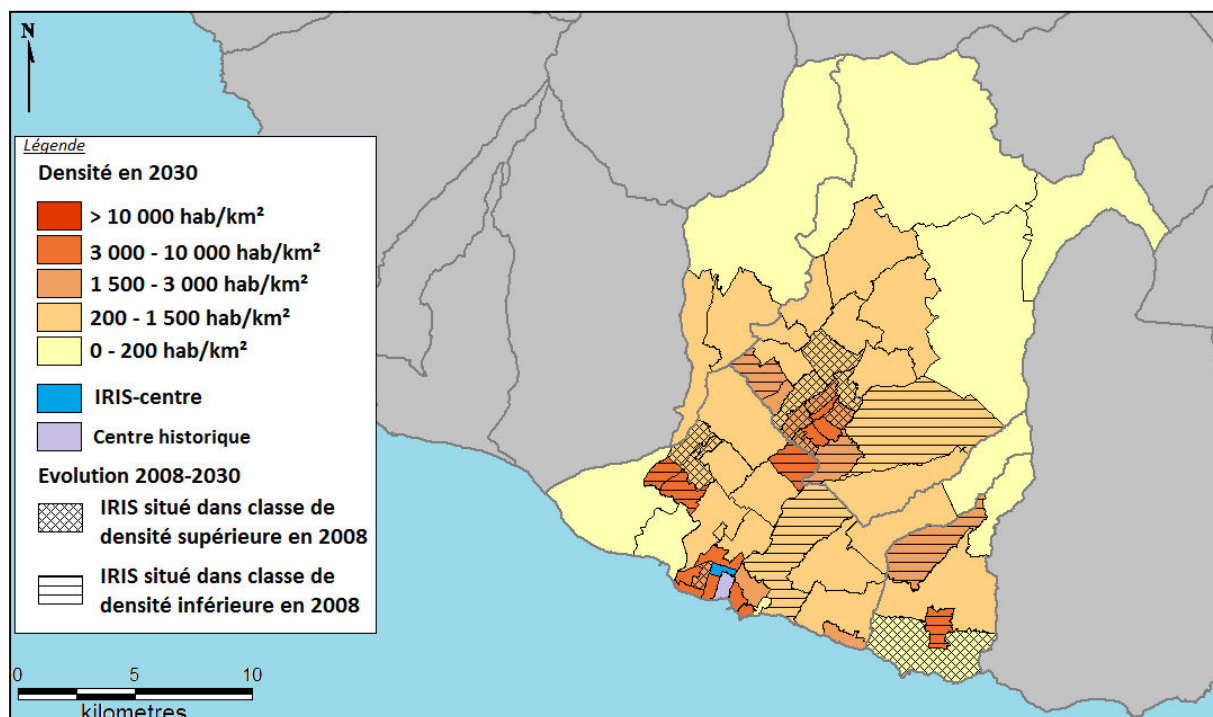
**Figure 4.18 : Comparaison des courbes de population cumulée en 2008 et de la courbe prévisionnelle de population cumulée en 2030, Aire urbaine de Saint-Denis, Scénario 1**



Conception : F. Bénard, 2012

Nous constatons, à la lecture de la figure 4.18, que le scénario 1 prévoit une baisse de la population dans le centre en 2030. En effet, la courbe des écarts est négative de 0 à presque 11 minutes. La population additionnelle en 2030 est donc localisée en couronnes périurbaines. Nous observons néanmoins, sur la carte 4.15, qu'un certain nombre d'IRIS localisés en couronne perdent également en densité. Nous remarquons d'ailleurs que ces IRIS se localisent aux alentours des centres identifiés dans la configuration polycentrique au chapitre 2.

**Carte 4.15 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030 (Scénario 1)**

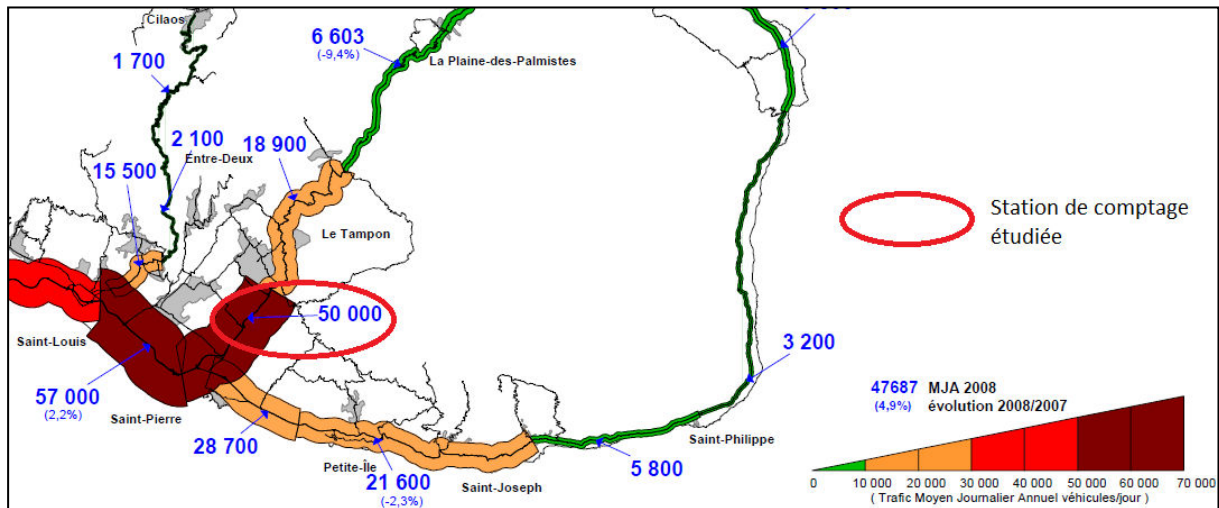


Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 20112

Selon ce scénario, l'aire urbaine de Saint-Pierre ne comptera toujours aucun IRIS extrêmement dense en 2030 : elle se composera en majorité d'IRIS peu denses (entre 200 et 1 500 hab/km<sup>2</sup>). Sur les neuf IRIS qui augmentent significativement de densité, quatre IRIS passent d'un état moyennement dense à dense, trois passent d'un état peu dense à moyennement dense, tandis que deux IRIS quittent l'état rural pour devenir peu denses. Ainsi, peu de changements sont observés. Néanmoins, nous remarquons que les densifications s'effectuent de manière dispersée, ce qui nous alerte une nouvelle fois sur l'aspect plutôt polycentrique de l'aire urbaine de Saint-Pierre (cf. Scénario 2).

En termes de conséquences sur le trafic, nous proposons d'étudier une station de comptage localisée sur la 2x2 voies reliant Saint-Pierre au Tampon (Carte 4.16). A l'instar de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, nous ne disposons pas du trafic par heure mais en considérant que les migrations alternantes permettent d'expliquer une bonne partie du trafic routier aux heures de pointe, nous proposons ainsi une analyse simplifiée de l'augmentation du trafic routier dû à la croissance de l'aire urbaine de Saint-Pierre.

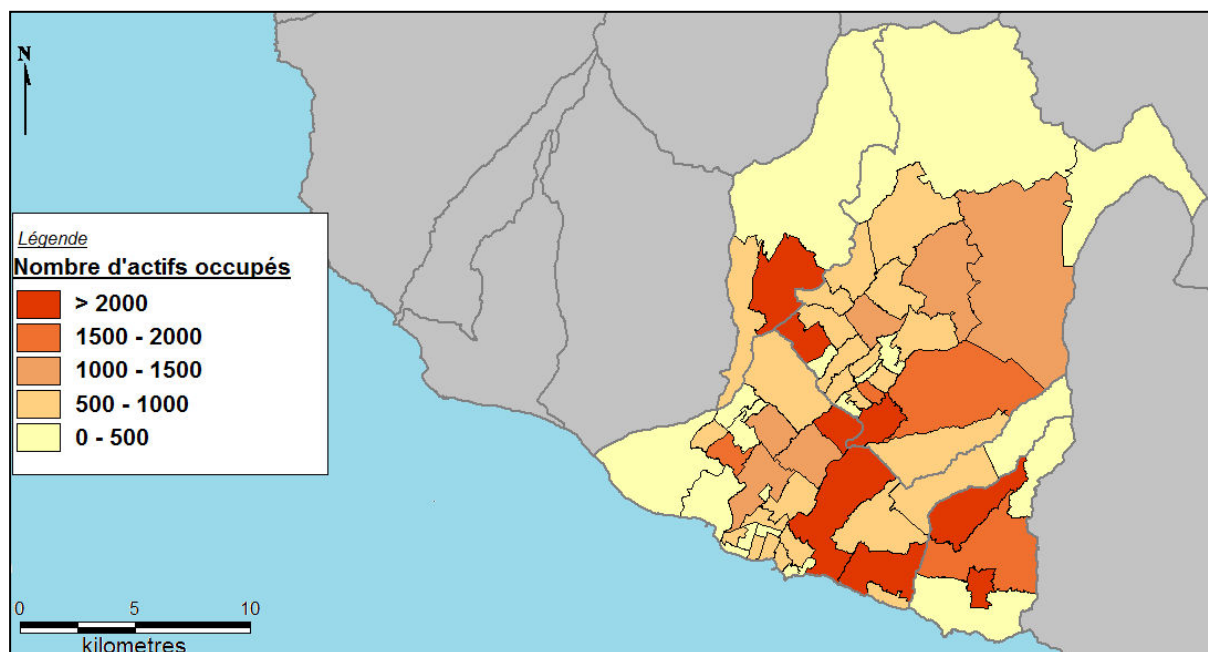
**Carte 4.16 : Trafic moyen journalier, zone Sud, 2008**



Source : Direction Départementale de l'Équipement, Service Gestion de la Route, 2009

Ainsi, en 2008, le trafic journalier moyen sur la station de comptage étudiée était de 50 000 véhicules. En considérant les données de migrations alternantes, nous pouvons attribuer 39,6% de ce flux aux migrations alternantes. Cette station se localise à proximité de nombreux commerces, ce qui explique la faible part des migrations alternantes. Sur les 19 800 flux de migrations alternantes, 85,8% sont des flux générés par l'aire urbaine de Saint-Pierre. L'analyse des données de population de 2008 permet d'observer la part des actifs occupés de chaque IRIS des communes de Petite Île et de Saint-Pierre travaillant au Tampon (respectivement 5,6% et 8,0%) et la part des actifs occupés de chaque IRIS de la commune du Tampon travaillant à Saint-Pierre (40,6%). Nous estimons de même, la population active occupée de chaque IRIS en 2030 à partir des données de 2008, en reprenant la même répartition de la population active occupée dans la population totale. Nous obtenons la carte prévisionnelle suivante :

**Carte 4.17 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Pierre, scénario 1**



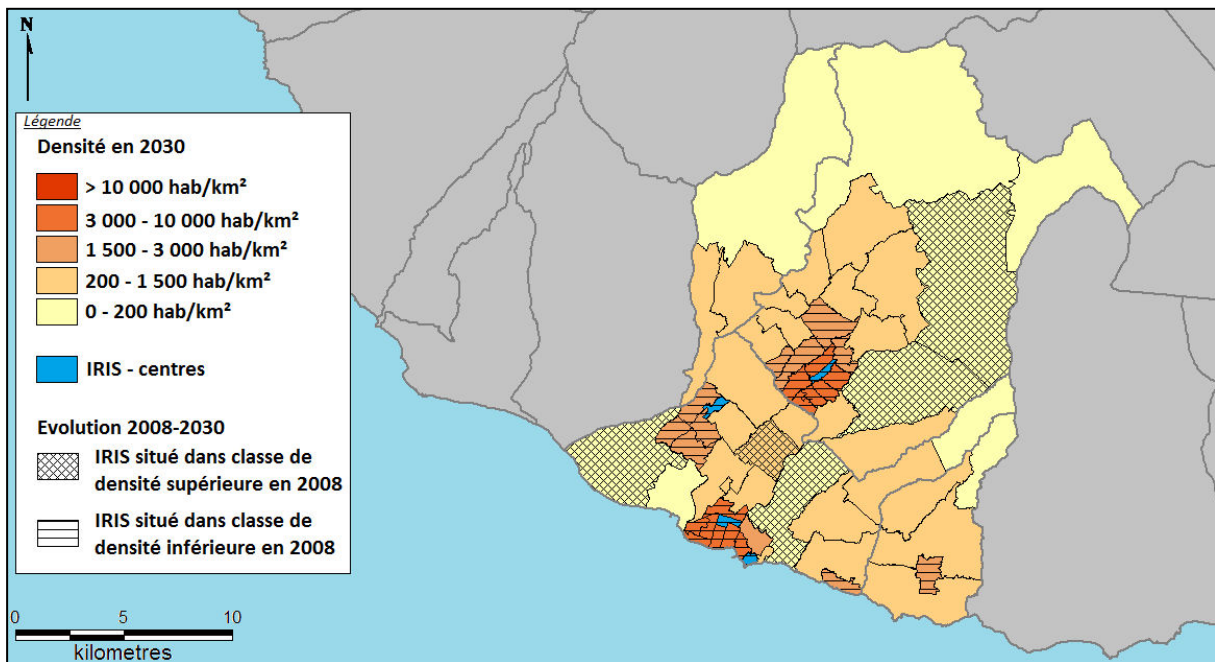
Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Notre estimation prévisionnelle de la répartition de la population active en 2030 permet un constat essentiel : les IRIS situés en couronne périphérique, accueillant plus de populations additionnelles accueillent également plus de population active occupée qu'en zone centrale. Sur la base du nombre d'actifs occupés prévisionnel et en considérant des pourcentage de migrations alternantes constants par rapport à 2008, nous estimons que la station de comptage située sur la 2x2 voies entre Saint-Pierre et Le Tampon devrait accueillir en 2030 un flux de 21 300 véhicules journaliers, soit une augmentation de 7.5%. Ce secteur est un secteur problématique aux heures de pointe, notamment dans le sens Le Tampon - Saint-Pierre. Ainsi, cette augmentation prévue du trafic alerte une nouvelle fois, à l'instar des prévisions pour l'aire urbaine de Saint-Denis, sur la nécessité d'une réflexion transport-urbanisme à La Réunion.

### **Scénario 2 : une organisation polycentrique affirmée**

Dans ce second scénario, nous envisageons la possibilité d'une organisation polycentrique affirmée : en effet, nous avons pu mettre en exergue dans le chapitre 2 que ce type d'organisation commençait à se dessiner avec l'émergence de centres secondaires. Nous supposons ainsi qu'en 2030, les centres secondaires ont émergés et l'aire urbaine de Saint-Pierre serait ainsi régie par quatre centres différents. Nos calculs prévisionnels se fondent sur une hypothèse principale afin de simplifier la réflexion : la densité de population est la même dans tous les centres. Sur cette base, à partir du modèle de Newling testé dans le chapitre 2, nous pouvons estimer la répartition des densités en 2030 en supposant que la population de l'aire urbaine représente 19.05% de la population totale. Nous obtenons ainsi la carte suivante :

**Carte 4.18 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030 (Scénario 2)**

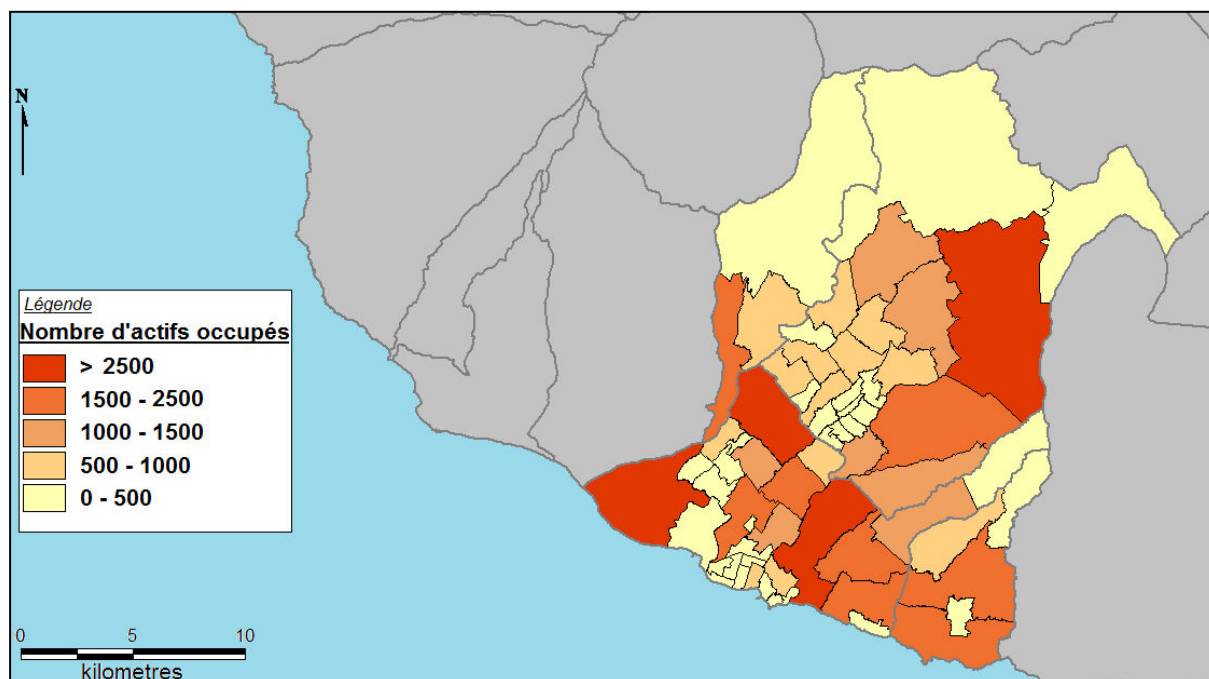


Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

Nous observons sur la carte 4.18 une augmentation significative des densités autour des centres tandis qu'un certain nombre d'IRIS perdent en population. En 2030, selon le scénario envisagé, aucun IRIS n'est extrêmement dense au sein de l'aire urbaine de Saint-Pierre : en effet, les IRIS les plus denses sont les IRIS centres avec une densité de 5 000 hab/km<sup>2</sup>. Concrètement, ce scénario est un scénario de densification. En termes de trafic, nous pouvons calculer, avec la même méthode utilisée que précédemment, dans un premier temps la répartition de la population active occupée par IRIS (Carte 4.19) et dans un second temps les flux domicile-travail générés par cette population et concernant la station de comptage située sur la 2x2 voies reliant les communes de Saint-Pierre et du Tampon (cf. Carte 4.16). Ainsi, selon ce scénario, nous estimons qu'en 2030, 20 000 passages sur la station de comptage étudiée seront dus aux migrations alternantes ayant pour origine les IRIS de l'aire urbaine de Saint-Pierre. Le flux correspondrait donc approximativement au flux enregistré en 2008, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'affirmation des centres et donc de densification autour des différents centres.



**Carte 4.19 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Pierre, scénario 2**



Calculs, conception et réalisation : F. Bénard, 2012

En conclusion sur les prévisions de l'aire urbaine de Saint-Pierre, nous constatons dans les deux scénarios une différence en termes de trafic. Alors que le premier scénario, qui suppose une configuration urbaine en 2030 similaire à la configuration en 2008, prévoit une croissance de 7.5% des flux de migrations alternantes ; le second scénario densifie les zones autour des différents centres mais prévoit un trafic en 2030 similaire à celui de 2008. La différence entre les deux scénarios trouve son explication dans l'observation des données prévisionnelles pour la commune du Tampon. En effet, dans le scénario 1, les IRIS de la commune du Tampon ont plus de poids en termes de population et donc de population active dans le total de l'aire urbaine, que dans le scénario 2 : dans le scénario 1, 38.80% de la population active occupée réside dans la commune du Tampon, tandis que dans le scénario 2, seul 32.3% de la population active occupée réside au Tampon. Cet écart de 6.5 points prend une certaine ampleur dans l'estimation des trafics car, en effet, 40,6% de la population active du Tampon travaille à Saint-Pierre et génère donc un flux qui va directement concerner la station de comptage étudiée. Ces prévisions de trafic restent néanmoins approximatives, faute de données précises, et doivent donc être accueillies prudemment. La construction à La Réunion, d'un modèle d'analyse des interactions transport-urbanisme avec, en amont, la création des bases de données nécessaires à ce type de modèles pourraient permettre des prévisions plus précises.



## Conclusion du chapitre

Ce chapitre s'est organisé en deux parties distinctes. Dans un premier temps nous nous sommes concentrés sur l'évolution de la population entre 1990 et 2008 pour chacune des aires urbaines afin de comprendre les moteurs du développement de chacune d'entre elles. Ainsi, nous avons pu constater que les évolutions en matière de lois par exemple ont largement influencés le développement de l'aire urbaine de Saint-Denis. De même, les politiques d'aménagement jouent également un rôle important, comme nous avons pu le voir dans le cas de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port. Globalement nous avons pu constater une évolution distincte de chaque aire urbaine. En effet, l'aire urbaine de Saint-Denis présente en 2008 un essoufflement de sa croissance : limitée par son relief, l'aire urbaine ne peut plus progresser spatialement et doit donc accueillir toute population additionnelle dans un rayon de 35 minutes autour du centre. L'évolution logique de l'aire urbaine est donc une densification d'espaces déjà denses globalement. Ainsi, le scénario d'évolution envisagé pour Saint-Denis met en exergue une densification des IRIS aux abords du centre. Une possibilité d'évolution pourrait également être envisagée à l'échelle globale de l'Île, en termes de hiérarchie urbaine. En effet, nos scénarios n'ont considéré qu'une évolution de chaque aire urbaine prise isolément. Or, nous pouvons considérer par exemple, une modification des limites de l'aire urbaine de Saint-Denis : un scénario possible serait la progression de l'aire urbaine vers l'Ouest. L'aire urbaine de Saint-Denis engloberait ainsi l'aire urbaine de Saint-Paul –Le Port : 40% de la population active occupée travaillerait alors à Saint-Denis. En 2008, selon les données de migration alternante de l'INSEE, 9.97% de la population active occupée de la commune du Port, 18.28 % de la commune de La Possession, 11.16% de la commune de Saint-Paul et 8.13% de la commune de Trois Bassins travaillaient à Saint-Denis. Cela représentait 27% du flux journalier sur la Route du Littoral. L'hypothèse de l'absorption de l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port par l'aire urbaine de Saint-Denis, générerait, selon nos estimations en 2030, un flux journalier de presque 50 000 véhicules, ce qui multiplierait par 3.6 le flux journalier de 2008. Un tel scénario serait problématique pour l'Île, la Route du Littoral étant déjà saturée en 2008.

Concernant l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, nous observons, contrairement à Saint-Denis, une croissance urbaine qui vient densifier des espaces ruraux et peu denses entre 1990 et 2008. Le développement de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port est en effet représenté linéairement : la population se répartit autour d'un axe principal de transport, ce qui est fidèle à l'image du village et de la ville-rue. La courbe des écarts de population cumulée paraît se stabiliser à une certaine distance au centre mais la stabilisation n'est pas aussi nette que pour Saint-Denis, ce qui laisse envisager des possibilités d'extension spatiale. L'ouverture de la Route des Tamarins, en 2009, vient d'ailleurs renforcer cette possibilité d'extension spatiale. En effet, La Route des Tamarins permet de réduire les temps d'accès entre l'Ouest et le Sud et offre ainsi de nouvelles possibilités de localisation à la population. Nous avons pu constater, dans ce chapitre, que l'ouverture de la Route des Tamarins, ne vient pas modifier fondamentalement l'organisation urbaine de Saint-Paul - Le Port. En effet, elle a des impacts plutôt sur l'organisation globale de l'Île, ou du moins l'organisation de la zone Ouest. Elle

pourrait en effet permettre à l'aire urbaine de Saint-Paul de s'étendre vers le Sud jusqu'à côtoyer l'aire urbaine de Saint-Pierre. Une telle analyse nécessite un jeu de données que nous ne possédons pas aujourd'hui mais qui pourrait ainsi constituer une perspective de recherches futures pour prolonger notre analyse de l'étalement urbain à La Réunion.

Concernant l'aire urbaine de Saint-Pierre, la croissance urbaine et l'étalement urbain semblent sans limite. En effet, la courbe des écarts de population cumulée entre 1990 et 2008 est linéaire ascendante en périphérie ce qui laisse envisager la progression spatiale de l'étalement urbain. Néanmoins, selon les scénarios envisagés en 2030 pour l'aire urbaine de Saint-Pierre, cette extension n'est pas forcément visible. Ainsi, le premier scénario envisagé, qui suppose une organisation monocentrique constante, met en évidence la perte de populations dans les zones aux abords des potentiels centres secondaires ; tandis que le scénario 2, qui suppose l'affirmation d'une configuration polycentrique, suppose une densification des centres.

L'objectif de l'analyse de l'évolution sur la période 1990-2008 est d'envisager la répartition des densités en 2030 dans une démarche de prospective exploratoire. Les scénarios envisagés ont permis de mettre en exergue une information essentielle : la nécessité de la construction sur le territoire réunionnais de modèles transport-urbanisme et des bases de données nécessaires à ces modèles, permettant ainsi de mener une réflexion globale en termes d'aménagement à la Réunion et d'inclure les spécificités du milieu. Ces modèles sont en effet nécessaires, car l'interaction transport-urbanisme est particulièrement forte dans les aires urbaines étudiées : le réseau routier structure en effet l'organisation spatiale de la population à Saint-Pierre et Saint-Paul-Le Port, tandis qu'à Saint-Denis, les temps d'accès au centre sont un facteur déterminant de localisation. Les prévisions de répartition de densité en 2030 ont permis d'amorcer une analyse prévisionnelle du trafic qui, dans le cas de Saint-Denis par exemple, vient confirmer le besoin de ce type de modèles. La pression démographique et les spécificités de chaque aire urbaine entraînent ainsi la nécessité d'une réflexion globale en termes d'urbanisme et de transport.

# Conclusion générale

Les modèles d'analyse de la densité afin d'étudier la forme urbaine et notamment l'étalement urbain ont abondamment été testés dans de grandes métropoles du monde entier : en Europe (Bussière, 1972 ; Clark, 1968 ; De Borger, 1979 ; Péguy, 2000), aux Etats-Unis (Kau et Lee, 1976 ; Newling, 1966 ; Muth, 1969 ; Mills, 1970, 1972), en Asie (Mills et Song, 1979 ; Mills et Otha, 1966) et en Amérique du Sud (Ingram et Carroll, 1981). Diverses formes de modélisation ont été utilisées et la relation distance au centre et densité a été validée empiriquement. Ces modèles n'ont néanmoins jamais été testés en milieu insulaire, dans le cadre de petites aires urbaines. Nous nous sommes ainsi interrogés sur la possibilité de l'utilisation de ces modèles en milieu insulaire, et notamment sur l'Île de La Réunion. Nous avons ainsi pu mettre en évidence que, malgré les spécificités du milieu réunionnais, les modèles dits classiques peuvent se retrouver dans les aires urbaines à La Réunion. Le chapitre 1 a en effet permis de démontrer l'échelle pertinente d'étude de l'étalement urbain à La Réunion : l'aire urbaine.

Nous pouvons globalement identifier trois formes distinctes d'étalement urbain, formes visibles dans de grandes métropoles également. Ainsi, l'aire urbaine de Saint-Denis par exemple présente une organisation monocentrique où les temps d'accès permettent d'expliquer la répartition de la population sur le territoire. L'aire urbaine de Saint-Denis est ainsi comparable, en termes d'organisation urbaine, à des villes de type monocentrique comme c'est le cas à Dijon par exemple ou dans l'agglomération lyonnaise. Ainsi, l'aire urbaine de Saint-Denis, en termes de configuration urbaine, peut être comparée à des aires représentant plus de 60 fois sa taille démographique. L'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port s'organise également autour d'un centre unique, mais c'est bien plus le réseau routier qui va structurer l'organisation spatiale de la population. Nous observons ainsi un développement linéaire autour d'un axe de transport : c'est une organisation urbaine familière, héritée de l'époque médiévale et du colonialisme. La ville-rue de Saint-Paul-Le Port est d'ailleurs le témoin du passé colonial de l'Île. L'aire urbaine de Saint-Pierre est le cas le plus complexe à étudier : en effet un bâti parsemé, favorisé par un réseau de transport « en étoile », laisse présager une configuration polycentrique mais en 2008, les centres secondaires n'ont pas pris assez de poids pour faire face à l'attraction du centre principal. L'aire urbaine de Saint-Pierre présente donc une organisation polycentrique en devenir. Nos travaux permettent donc d'identifier trois aires urbaines distinctes représentées par trois modèles d'organisation urbaine différente sur un petit espace de 2 512 km<sup>2</sup> (Chapitres 2 et 3).

Ce constat de concordance entre développement métropolitain et développement en milieu insulaire à La Réunion suscite d'autres questions : en effet, un autre milieu insulaire pourra-t-il faire apparaître les mêmes types d'organisation urbaine ? La comparaison de divers milieux insulaires pourrait-elle améliorer la compréhension de ces milieux ? Ces questionnements pourraient ainsi être abordés dans l'étude des configurations urbaines dans d'autres milieux insulaires. La perspective de travail dans d'autres départements d'outre-mer serait ici

envisagée : la disponibilité et la fiabilité des données seraient un grand avantage. En effet, les données pour d'autres départements d'outre-mer présentent l'avantage d'être récoltées par la même institution avec la même méthodologie et permettent ainsi une comparaison fiable. La Guadeloupe et la Martinique, îles volcaniques également, pourraient constituer des territoires d'analyse intéressants. Avec la même méthodologie employée pour l'analyse de l'étalement urbain à La Réunion, nous pourrions utiliser les bases de données infra communales pour étudier l'étalement urbain des principales aires urbaines en Guadeloupe et Martinique.

La question de l'insularité mériterait d'ailleurs d'être abordée plus dans le détail. En effet, nous nous sommes concentrés sur l'aspect isolé et restreint de l'espace pour comprendre l'organisation urbaine. L'analyse d'autres particularités insulaires telles le phénomène de rupture de charge et les spécificités économiques de tels territoires va également constituer une piste claire pour des recherches futures.

L'interaction transport-urbanisme est forte à La Réunion. Le développement des trois principales aires urbaines est en effet largement influencé par le système de transport. Les temps d'accès au centre jouent en effet un rôle déterminant dans la localisation de la population, et le réseau routier lui-même, permet de distinguer plusieurs formes urbaines. Pourtant, les politiques d'aménagement n'adoptent pas toujours une réflexion globale incluant à la fois les problématiques liées à l'urbain et les problématiques liées au transport. D'ailleurs, il n'existe aucun modèle d'interaction transport-urbanisme adapté au milieu insulaire : les questionnements liés à l'urbain et au transport sont ainsi souvent envisagés de manière séparée. Ainsi, nos travaux constituent une première analyse de l'interaction transport-urbanisme à La Réunion. Nous avons ainsi tenté de prévoir la répartition de la population en 2030 et d'en prévoir les conséquences éventuelles en termes de trafic (Chapitre 4). Les scénarios d'évolution laissent présager de fortes problématiques liées au transport et à l'urbanisme en 2030, notamment en termes de trafic dans l'aire urbaine de Saint-Denis par exemple. Cette analyse est néanmoins incomplète et souffre d'un défaut incontestable : les bases de données imprécises ou absentes. Ces limites identifiées dans nos travaux appellent à un dépassement futur : nos travaux de prévision nécessitent en effet d'être renforcés par une analyse globale de la problématique transport-urbanisme à La Réunion. En effet, notre réflexion et notre méthodologie pourraient être améliorées avec la construction d'un modèle LUTI (Land Use and Transport Interaction) adapté au milieu insulaire réunionnais. Cette construction serait une démarche lourde mais qui servirait, à terme, à la prospective et à la planification territoriales. Les projets d'aménagement à La Réunion pourraient ainsi être envisagés dans une réflexion globale qui permettrait de réguler les problématiques d'étalement urbain et les problématiques de congestion qui existent à La Réunion.

# Références bibliographiques

- AGORAH, Agence pour l'Observation de la Réunion, l'Aménagement et l'Habitat, 2005, *Densification et étalement urbain à la Réunion, Mesure, Localisation et Evolution*, 6 p.
- AGUILERA, A., MIGNOT, D., 2002, Structure des localisations intra-urbaines et mobilité domicile-travail, *Recherche Transport Sécurité (RTS)*, 77, pp. 311-321
- ALLAIRE, J., 2006, Choisir son mode de ville : formes urbaines et transports dans les villes émergentes, *Cahiers de global chance*, pp. 66-70
- ALLAIRE, J., 2007, L'organisation urbaine en question, *Pour la Science*, 104
- ALLAIRE, J., CRIQUI, P., 2007, Trois modèles de ville Facteur 4 : comparaison internationale, *Les Annales de la Recherche Urbaine*, pp. 54-63
- ALPEROVICH, G., DEUTSCH, J., 1996, Urban structure with two coexisting and almost completely segregated populations: The case of East and West Jerusalem, *Regional Science and Urban Economics*, 26, pp. 171-187
- ANGEL, S., SHEPPARD, S.C., CIVCO, D.L., 2005, *The dynamics of global urban expansion*, Washington, Département des transports et du développement urbain de la Banque mondiale, 102 p.
- ANSELIN, L., GRIFFITH, D. A., 1988, Do spatial effects really matter in regression analysis, *Papers, Regional Science Association*, 65, pp. 11-34
- ANTONI, R.M., 2010, *Vocabulaire français de l'art urbain*, Lyon, CERTU
- BARONCE, G., 2009, Saint-Denis de la Réunion, l'éléphant urbain, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 245, pp. 123-127
- BAUMONT, C., LE GALLO, J., 1999, Les tests empiriques des modèles urbains multicentriques, LATEC, Laboratoire d'Analyse et des Techniques Economiques, CNRS UMR 5118, Université de Bourgogne
- BAUMONT, C., LE GALLO, J., 2000, Les nouvelles centralités urbaines, *Economie Géographique : les théories à l'épreuve des faits*, Paris, Economica
- BECKMANN, M.J., 1958, City hierarchies and the distribution of city sizes, *Economic Development and Cultural Change*, 6, pp. 243-248
- BERLIANT, M., WATANABE, H., 2008, *Explaining the size distribution of cities : X-treme Economies*, MPRA Paper 5428, University Library of Munich, Germany
- BERRY, B. J. L., SIMMONS, J. W., , TENNANT, R. J., 1963, Urban Population Densities: Structure and Change, *Geographical Review*, 53, pp. 389-405
- BERTALANFFY, L., 1950, An outline of General System Theory, *British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), pp. 134-165
- BLEICHER, H., 1892, *Statische Beschreibung der Stadt Frankfurt am Main und ihrer Bevölkerung*, Frankfurt
- BONNAFOUS, A., PUEL, H., 1983, *Physionomies de la ville*, Ed. Économie et Humanisme - les Éditions Ouvrières, Paris

- BONNAFOUS, A., TABOURIN E., 1996, Le modèle d'Alonso-Bussière revisité, *Journées de Chamonix*, 8 et 9 janvier 1996, 15 p.
- BONNEL, P., 2004, Prévoir la demande de transport, Presses Ponts et Chaussées, Paris
- BRUECKNER, J. K., FANSLER, D. A., 1983, The Economics of Urban Sprawl: Theory and Evidence on the Spatial Sizes of Cities, *The Review of Economics and Statistics*, 65, pp. 479-482
- BURCHFIELD, M., OVERMAN, H.G., PUGA, D., TURNER, M.A., 2002, Sprawl?, *Conference Paper, Lincoln Institute of Land Policy*
- BURCHFIELD, M., OVERMAN, H.G., PUGA, D., TURNER, M.A., 2006, Causes of sprawl: A portrait from space, *Quarterly Journal of Economics*, 121(2), pp. 587-633
- BUSSIERE, R., 1972, *Modèle urbain de localisation résidentielle : Eléments scientifiques pour les décisions de planification urbaine*, Annales du Centre de Recherche d'Urbanisme, 162 p.
- CAMAGNI, R., 1996, *Principes et modèles de l'économie urbaine*, Paris, Economica
- CAMBIEN, A., 2010, La modélisation urbaine : une approche historique, in ANTONI, J.P., *Modéliser la ville, Formes urbaines et politiques de transport*, Paris, Economica
- CARLINO, G. A., MILLS, E. S., 1987, The determinants of county growth, *Journal of Regional Science*, 27, pp. 39-54
- CERTU, 2002, *Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable du P.L.U.*, Lyon, 92 p.
- CERTU, 2012, Modèles « transports-urbanisme » : fiches de synthèses sur les modèles LUTI, [http://www.certu.fr/fr/\\_Mobilit%C3%A9\\_et\\_d%C3%A9placements-n25/D%C3%A9placements\\_et\\_planification-n46/Mod%C3%A9lisation-n50/Modeles\\_%C2%AB\\_transports\\_urbanisme\\_%C2%BB\\_:\\_fiches\\_de\\_syntheses\\_sur\\_les\\_modeles\\_LUTI\\_-a2350-s\\_article\\_theme.html](http://www.certu.fr/fr/_Mobilit%C3%A9_et_d%C3%A9placements-n25/D%C3%A9placements_et_planification-n46/Mod%C3%A9lisation-n50/Modeles_%C2%AB_transports_urbanisme_%C2%BB_:_fiches_de_syntheses_sur_les_modeles_LUTI_-a2350-s_article_theme.html), (consulté le 20 août 2012)
- CHATELAIN, M.C, 1993, *Urbanisation et aménagement comparés de Saint-Denis et de Saint-Pierre de la Réunion depuis 1946*, Doctorat en géographie, Université de Paris X, Nanterre, 1101 p.
- CHERQUI, F., 2005, *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier -méthode ADEQUA*, Thèse de Doctorat de Génie Civil, Université de La Rochelle, 202 p.
- CHESIRE, P., 1999, Trends in Sizes and Structures of Urban Areas, in CHESIRE P. AND MILLS J., *Handbook of Regional and Urban Economics*, 3, Elsevier Science B.B, Amsterdam, pp. 1339-1773
- CHEVALLIER, M., 2009, Automobile : la fin du rêve, *Alternatives Economiques*, 279, [http://www.alternatives-economiques.fr/automobile---la-fin-du-reve\\_fr\\_art\\_831\\_42613.html](http://www.alternatives-economiques.fr/automobile---la-fin-du-reve_fr_art_831_42613.html), (consulté le 12 septembre 2012)
- CLARK, C., 1957, Urban Population Densities, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 114, pp. 490-496

- DAVID, D., 2010, Prospective territoriale par Simulation Orientée Agent, Thèse de Doctorat en Informatique, Université de La Réunion, 217 p.
- DE BORGER, B., 1979, Urban population density functions: Some Belgian evidence, *The Annals of Regional Science*, 13, pp. 15-24
- DEYMIER G., NICOLAS J.P., 2005, *Modèles d'interaction entre transport et urbanisme : état de l'art et choix du modèle pour le projet Simbad*, LET rapport intermédiaire n°1, 47 p.
- DOBKINS, L. H., IOANNIDES, M. Y., 1999., Spatial Interactions Among U.S. Cities: 1900-1990, Department of Economics, Tufts University
- DUGENY, F., 2005, Appréhender la densité, *Note rapide sur l'occupation du sol*, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France, 383, 4 p.
- DYNARSKI, M., 1986, Household formation and suburbanization, 1970-1980, *Journal of Urban Economics*, 19, pp. 71-87
- EDMONSTON, B., GOLDBERG M.A., MERCER J., 1985, Urban Form in Canada and the United States: an Examination of Urban Density Gradients, *Urban studies*, 22, pp. 209-217
- EECKHOUT, J., 2003, Gibrat's Law for (all) Cities, *American Economic Review*, 94, pp. 1429-1451
- ENAULT, C., 2003, *Vitesse, accessibilité et étalement urbain. Analyse et application à l'aire urbaine dijonnaise*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Bourgogne, 456 p.
- FRANKHAUSER, P., 2002, La « ville fractale » et la fractalité des villes, in DUBOIS-TAINE, G., *La ville émergente*, PUCA 2002
- FRANKHAUSER, P. 2003. *Morphologie des "villes émergentes" en Europe à travers les analyses fractales/Première partie : L'approche fractale des textures urbaines*, PUCA 2003
- FUJITA, M., 1989, *Urban economic theory: land use and city size*, Cambridge University Press
- FUJITA, M., THISSE, J.-F., 1997, Économie géographique, Problèmes anciens et nouvelles perspectives, *Annals of Economics and Statistics / Annales d'Économie et de Statistique*, pp. 37-87
- FUJITA, M., THISSE, J. F., GAIGNÉ, C., SCHMITT, B., 2003, *Économie des villes et de la localisation*, De Boeck
- GABAIX, X., 1999, Zipf's Law for Cities: An Explanation. *The Quarterly Journal of Economics*, 114, pp. 739-767
- GABAIX, X., IBRAGIMOV, R., 2006, *Log(Rank -1/2): a simple way to improve the OLS estimation of tail exponents*, Discussion paper 2106, Harvard Institute of Economic Research, Harvard University



- GABAIX, X., IOANNIDES, M.Y., 2003, The Evolution of City Size Distributions. *Handbook of Urban and Regional Economics*, J. Vernon Henderson and Jacques Francois Thisse ed. Amsterdam: Department of Economics, Tufts University
- GASCHET, F., 2000, La structure d'un espace urbain polycentrique : les pôles d'activités de la métropole bordelaise, in DERYCKE, P.H., *Structure des villes, entreprises et marchés urbains*, Paris, L'Harmattan
- GASCHET, F., POUYANNE, G., 2009, *Valeurs immobilières, métropolisation et nouvelles centralités urbaines. Le cas de la Métropole Bordelaise*, Document de travail, 48 p.
- GOFETTE-NAGOT, F., SCHMITT, B., 1999, Agglomeration economies and spatial configurations in rural areas, *Environment and Planning A*, 31(7), pp. 1239-1257
- GOUX, J.F., 1981, Les fondements de la loi de la densité urbaine de C. Clark, *La Revue Canadienne des Sciences Régionales*, IV, pp. 113-132
- GOZE, M., 2002, La stratégie territoriale de la loi S.R.U., *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, pp. 761-776
- GUÉROIS, M., 2003, *Les formes des villes européennes vues du ciel. Une contribution de l'image CORINE Land cover à la comparaison morphologique des grandes villes d'Europe occidentale*, Thèse de doctorat, Université Paris I Panthéon – Sorbonne
- HEIKKILA, E., GORDON, P., KIM, J. I., PEISER, R. B., RICHARDSON, H. W., DALE-JOHNSON, D., 1989, What happened to the CBD-distance gradient?: land values in a policentric city, *Environment and Planning A*, 21, pp. 221-232
- HÉRAN, F., 2001, La réduction de la dépendance automobile, *Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie*, pp.61-86
- HILL, B.M., 1975, A Simple General Approach to Inference about the Tail of a Distribution, *The Annals of Statistics*, 3, pp. 1163-1174
- HOMOCIANU, M., 2009, *Modélisation de l'interaction transport-urbanisme – choix résidentiels des ménages dans l'aire urbaine de Lyon*, Thèse de doctorat en sciences économiques, Université de Lyon, 253 p.
- HOYT, H., 1939, *The structure and growth of residential neighbourhoods in American cities*, Washington, DC : Federal Housing Administration
- HSING, Y., 1990, A Note on Functional Forms and the Urban Size Distribution, *Journal of Urban Economics*, 27, pp. 73-79
- HURIOT, J.M., BOURDEAU-LEPAGE, L., *Économie des villes contemporaines*, Paris, Economica, 2009, 366 p.
- IEDOM, 2004, *La distribution automobile à La Réunion*, Les notes de l'institut d'émission, 19 p.
- INGRAM, G. K., CARROLL, A., 1981, The spatial structure of Latin American Cities, *Journal of Urban Economics*, 9, pp. 257-273

- INSEE, 2008, Population et ménages en 2030. Nouvelles Projections, *Economie de la Réunion*, 132
- INSEE, 2010, Zonages Urbains, L'Ouest et le Sud se restructurent autour de Saint-Paul et Saint-Pierre, *Economie de La Réunion*, 138, pp. 25-26
- INSEE, 2011, *Tableau Economique de La Réunion*. Edition 2011, 178 p.
- IOANNIDES, Y. & OVERMAN, H. G., 2003, Zipf's law for cities: an empirical examination. *Regional Science and Urban Economics*, 33, pp. 127-137
- JORDAN, S., ROSS, J. P., USOWSKI, K. G., 1998, U.S. suburbanization in the 1980s. *Regional Science and Urban Economics*, 28, pp. 611-627
- KAU, J. B., LEE, C. F., 1976, Functional Form, Density Gradient and Price Elasticity of Demand for Housing, *Urban Studies*, 13, pp. 193-200
- LAJOIE, G., 1999, L'étalement urbain à la Réunion, *Economie de la Réunion, INSEE Réunion*, 109, pp. 11-22
- LAJOIE, G., 2004, *Evolutions socio-économique et démographiques à la Réunion : quelques conséquences en aménagement du territoire*, Travaux et Documents n°21, Université de la Réunion, pp. 77-100
- LAJOIE, G., HAGEN-ZANKER, A., 2007, La simulation de l'étalement urbain à la Réunion : apport de l'automate cellulaire metronamica® pour la prospective territoriale, *Cybergeog : European Journal of Geography*, <http://cybergeog.revues.org/11882>, (consulté le 23 mai 2012)
- LALANNE, A. 2010, *L'organisation hiérarchique du système urbain canadien 1971 – 2001*, Thèse de Doctorat, Université de Montesquieu - Bordeaux IV
- LEFEVRE, D., 1986, *L'organisation de l'espace à Maurice et à la Réunion : étude comparée*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Nice
- LE MOIGNE, J.L., 1977, *La théorie du système général, Théorie de la modélisation*, Paris: Col., Systèmes-Décisions, Presses Universitaires de France
- LOINGER, G., SPOHR, C., 2005, *Prospective et planification territoriales. Etat des lieux et propositions*, Travaux et recherches de prospective, 24, 198 p.
- LOPEZ, R., HYNES, H.P., 2003, Sprawl in the 1990s: Measurement, distribution, and trends, *Urban Affairs Review*, 38, pp. 325-355
- LOTKA, A. J., 1941, The Law Of Urban Concentration. *Science*, 94
- JAUZE, J.M., 1994, *Le phénomène urbain dans la région Est-Nord Est de la Réunion*, Thèse de doctorat en géographie, Université de la Réunion, 814 p.
- JAUZE, J.M., 1998, Les centralités emboîtées de l'espace réunionnais, *Mappemonde*, 51, pp. 27-30
- JORDAN S., ROSS J.P., USOWSKI K.G., 1998, U.S. suburbanization in the 1980s, *Regional Science and Urban Economics*, 28, pp. 611-627

- LARDOUX, J.M., 2002, Projections de population à l'horizon 2030, in SANDRON, F., *La Population réunionnaise : Analyse démographique*, Paris
- MANDELBROT, B., 1983, *The Fractal Geometry of Nature*, New York, W.H. Freeman
- MANHEIM, M., 1979, *Fundamentals of transportation systems analysis*, The MIT Press, Cambridge
- MARCHAND, B. 1969, La structure urbaine de Caracas. *Annales de Géographie*, pp. 286-309
- MARGO, R. A., 1992, Explaining the Postwar suburbanization of the population in United States : the role of income, *Journal of Urban Economics*, 31, pp. 301-310
- MASSON, S., 2000, *Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation*, Thèse de doctorat de Sciences Economiques, mention Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2
- MERLIN, P., CHOAY, F., 1988, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Paris, Presses Universitaires de France
- METZGER, P., LAJOIE, G., 2003, Densification et extension urbaines à la Réunion, *Etudes foncières*, 105, pp. 28-33
- MIGNOT, D., 2000, *La croissance éclatée des villes*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Lumière Lyon 2, 163 p.
- MIGNOT, D., AGUILERA ,A., BLOY, D., CAUBEL, D., MADRE, J.L., PROULHAC, L., VANCO, F., 2007, *Formes urbaines, mobilités et ségrégation : une comparaison Lille-Lyon-Marseille*, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, 118 p.
- MILLOT, M., 2003, *Développement urbain et insécurité routière : l'influence complexe des formes urbaine*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- MILLS, E.S., 1970, Urban density functions, *Urban Studies*, 7(1), pp. 5-20
- MILLS, E.S., HAMILTON B.W., 1972, *Urban economics*, Addison Wesley, 480 p.
- MILLS, E.S., OTHA J., 1976, «Urbanization and urban problems», in *Asia's new giant: how the Japanese economy works*, Brooking Institution, Washington
- MILLS, E.S., SONG, B.N., 1979, *Korea's urbanization and urban problems 1945-1975*, Cambridge, Harvard University Press
- MILLS, E. S., TAN, J. P., 1980, A Comparison of Urban Population Density Functions in Developed and Developing Countries, *Urban Studies*, 17, pp. 313-321
- MILLS, E. S., PRICE, R., 1984, Metropolitan suburbanization and central city problems, *Journal of Urban Economics*, 15, pp. 1-17
- MILLS, E. S., 1992, The measurement and determinants of suburbanization, *Journal of Urban Economics*, 32, pp. 377-387

- MILLS, E. S., LUBUELE, L. S., 1997, Inner Cities, *Journal of Economic Literature*, 35, pp. 727-756
- MORAN, P., 1950, Notes on continuous stochastic phenomena, *Biometrika*, 37, pp.17-23
- MORI, T., NISHIKIMI, K., SMITH, T. E., 2008, The Number-Average Size Rule: a new empirical relationship between industrial location and city size, *Journal of Regional Science*, 48, pp. 165-211
- MORICONI-EBRARD, F., 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*, Paris, Anthropos
- MUTH, R.S., 1969, *Cities and housing: the spatial pattern of urban residential land use*, University of Chicago Press, Chicago, 355 p.
- NESSI, H. 2010. Formes urbaines et consommation d'énergie dans les transports. La ville dense en question, *Etudes foncières*, pp. 30-32
- NEWLING, B.E., 1969, The Spatial Variation of Urban Population Densities, *Geographical Review*, 59, pp. 242-252
- NEWMAN, P., KENWORTHY, J., VINTILA, P., 1995, Can we overcome automobile dependence? : Physical planning in an age of urban cynicism, *Cities*, 12, pp. 53-65
- NEWMAN, P., KENWORTHY, J. R., 1989, *Cities and automobile dependence: An international sourcebook* Sidney, Gower Technical
- NEWMAN, P. W. G., 1999, Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44, pp. 219-226
- NINON, J., 1995, *La périurbanisation de l'espace réunionnais*, Thèse de doctorat en géographie, Université de Nice Sophia Antipolis
- NISHIYAMA Y., OSADA S., 2004, *Statistical theory of rank-size rule regression under Pareto distribution*, working paper, Kyoto Institute of economic research
- OLIVEAU, S., 2010, Autocorrélation spatiale : leçons du changement d'échelle, *L'Espace géographique*, 39, pp. 51-64
- PAPAGEORGIU, Y. Y., 1990, *The isolated city state. An economic geography of urban spatial structure*, Londres, Routledge
- PEGUY, P.Y., 2000, *Analyse économique des configurations urbaines et de leur étalement*, Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 396 p.
- POUYANNE, G., 2004, *Forme urbaine et mobilité quotidienne*, Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université Montesquieu-Bordeaux IV, 314 p.
- REILLY, W.J., 1931, *The Laws of Retail Gravitation*, New York, Knickerbocker Press
- ROSEN, K. T. & RESNICK, M., 1980, The size distribution of cities: An examination of the Pareto law and primacy, *Journal of Urban Economics*, 8, pp. 165-186
- SCHAEFFER, K, SCLAR, E, 1975, *Access for all: Transportation and Urban Growth*, London, Penguin

- SCHAFFAR, A., 2008, La loi de Zipf est-elle pertinente? Un examen méthodologique, *WLVème colloque de l'ASRDLF*, Rimouski, Canada
- SCHAFFAR, A., 2009, *Croissance et hiérarchies urbaines dans les pays émergents*, Thèse de doctorat, Université de la Réunion
- SCHAFFAR, A., 2009, La loi de Zipf dans la science régionale : entre anciennes controverses et nouvelles perspectives, *Cybergeo : European Journal of Geography*, <http://cybergeo.revues.org/22200>, (consulté le 23 mars 2012)
- SCHAFFAR, A., BENARD, F., 2012, La densité urbaine à travers un modèle rang-taille : Le cas de La Réunion, *XLIXème colloque de l'ASRDLF*, Belfort
- SHERRAT, C.G., 1960, A model for general urban growth, *Management Sciences: Models and technics*, 2, pp.147-159
- SIMON, H., 1955, On a class of skew distribution functions, *Biometrika*, 44, pp. 425-440
- SINGER, H. W., 1936, The "Courbe des Populations." A Parallel to Pareto's Law, *The Economic Journal*, 46, pp. 254-263
- SMALL, K. A. , SONG, S., 1994, Population and Employment Densities: Structure and Change, *Journal of Urban Economics*, 36, pp. 292-313
- SONG, S., 1994, Modelling Worker Residence Distribution in the Los Angeles Region, *Urban Studies*, 31, pp. 1533-1544
- SOO, K. T., 2005, Zipf's Law for cities: a cross-country investigation, *Regional Science and Urban Economics*, 35, pp. 239-263
- TANNER, J.C., 1961, *Factors affecting the amount of travel*, Road research technical paper 51, HMSO, Londres
- TIEBOUT, C. M., 1956, A pure theory of local expenditures, *Journal of Political Economy*, 64 (5), pp. 416-424
- THURSTON, L., YEZER A., 1994, Causality in suburbanization of population and employment, *Journal of Urban Economics*, 35, pp. 105-118
- VAN DEN BERG; L., 1987, *Urban systems in a dynamic society*, Aldershot, Gower.
- WANG, F., ZHOU, Y., 1999, Modelling Urban Population Densities in Beijing 1982-90: Suburbanisation and its Causes. *Urban Studies*, 36, pp. 271-287
- WEGENER, M., 1994, Operational Urban Models : state of the art, *Journal of the American Planning Association*, 60(1), pp. 17-30
- WHEATON, W., SHISHIDO H., 1981, Urban concentration, agglomeration economies, and the level of economic development, *Economic Development and Cultural Change*, 30, pp. 17-30
- ZHENG, X.P., 1991, Metropolitan Spatial Structure and its Determinants: A Case-study of Tokyo, *Urban Studies*, 28, pp. 87-104

- ZIELINSKI, K., 1979, Experimental analysis of eleven models of urban population density, *Environment and Planning A*, 11, pp. 629-641
- ZIPF, G.K., 1949, *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Addison-Welsey, Cambridge, MA

# Annexes

## Sommaire des Annexes

<b>Annexe 1 : La théorie de Von Thünen .....</b>	<b>195</b>
<b>Annexe 2 : Cartes de l'Île de La Réunion .....</b>	<b>198</b>
<b>Annexe 3 : Aire Urbaine de Saint-Denis, numérotation des IRIS .....</b>	<b>200</b>
<b>Annexe 4 : Aire Urbaine de Saint-Paul- Le Port, numérotation des IRIS.....</b>	<b>205</b>
<b>Annexe 5 : Aire urbaine de Saint-Pierre , numérotation des IRIS.....</b>	<b>210</b>
<b>Annexe 6 : Etat d'avancement des SCOT .....</b>	<b>216</b>
<b>Annexe 7 : Etat d'avancement des PLU .....</b>	<b>217</b>
<b>Annexe 8 : Légende des cartes dynamiques de l'Agorah sur la localisation des zones d'activités .....</b>	<b>218</b>

# Annexe 1 : La théorie de Von Thünen

Le père fondateur des théories de la localisation est Von Thünen (1826). Il est à l'origine d'un courant –l'économie géographique- ayant pour objectif de répondre à une question essentielle : qui se localise où ? (Fujita et Thisse, 1997). L'objectif est en effet de comprendre pourquoi et comment activités économiques et populations se localisent à tel ou tel endroit et comprendre ensuite quelles sont les conséquences en termes d'organisation territoriale et autres conséquences économiques. Dans cette approche, toute agglomération de population et d'activités est le résultat de deux processus impliquant deux forces opposées : une force d'agglomération ou force centripète et une force de dispersion ou force centrifuge (Fujita et Thisse, 1997). La littérature issue de ce courant est riche et cherche généralement à comprendre l'origine des forces centripète et centrifuge, les mécanismes qui poussent à l'agglomération d'agents différents ou d'agents semblables, etc.

Nous allons ici nous intéresser aux théories fondatrices, afin de simplement mettre en évidence les bases de ces théories. Ainsi, à l'origine, Von Thünen cherchait à expliquer la localisation des activités agricoles en fonction de la distance par rapport au centre. Il fonde alors sa théorie selon plusieurs hypothèses :

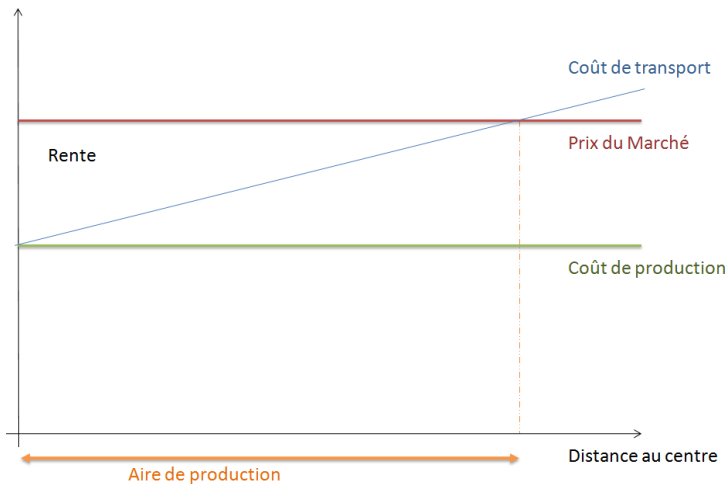
- L'isotropie spatiale : la plaine est homogène, sans accident géographique, et la fertilité de la terre est constante ;
- La présence d'un centre unique qui sert de marché à tous les produits ;
- La possibilité de circuler au sein de l'espace dans toutes les directions (conséquence de l'isotropie spatiale);
- Des coûts de transport totaux croissants en fonction de la distance, du poids et de la nature du produit ;
- Des facteurs de production disponibles en tout lieu de l'espace et ne supportant pas de coûts de transport ;
- Des coûts de production unitaire et un rendement de la terre constants ;
- Le caractère exogène du prix des produits agricoles qui est déterminé par le marché ;
- La rationalité des acteurs : agriculteurs et propriétaires fonciers sont supposés rationnels, les propriétaires louant leurs terres aux agriculteurs les plus offrants.

Sur la base de ces hypothèses, la rente correspond à la différence entre le prix de marché et le coût total du produit agricole, qui comprend les coûts de production, les coûts de transports et le profit normal du fermier. Cette rente est perçue par les propriétaires fonciers. L'espace étant supposé isotrope, le sol est homogène et n'intervient donc pas dans le choix des cultures ou des localisations ce qui exclut la théorie de la rente foncière de Ricardo (1817). Ainsi, plutôt que sur la fertilité du sol, Von Thünen s'appuie sur les coûts de transports. La distance



au centre devient alors un facteur déterminant dans la localisation des activités : à proximité du centre, la rente est maximale ; avec l'éloignement au centre, la rente décroît parallèlement à l'augmentation des coûts de transport. La distance à laquelle la rente devient nulle, constitue la limite de l'aire de production :

**Figure 1 : Théorie de la rente de Von Thünen**



Réalisation : F. Bénard, 2012

Il existe une localisation optimale dans l'espace pour laquelle le propriétaire maximise sa rente. La rente unitaire s'écrit sous la forme suivante :

$$r_i(d) = p_i - c_i - td$$

avec  $r_i$  la rente,  $p_i$  le prix sur le marché,  $c_i$  les coûts de production,  $t$  les coûts de transports,  $d$  la distance, et  $i$  la culture ou le produit.

Les coûts de production, prix et coûts de transport unitaires étant supposés constants, la variable déterminante est la distance  $d$  au marché. La valeur de  $p_i - c_i$  est alors constante pour un produit donné et la rente est une fonction inverse de la distance : à mesure que la distance augmente, la rente décroît. De ce fait, à une certaine distance du marché, le coût de transport annule totalement la rente. L'activité n'est alors plus rentable à partir de ce seuil qui constitue la portée limite. La distance limite s'écrit alors sous la forme :

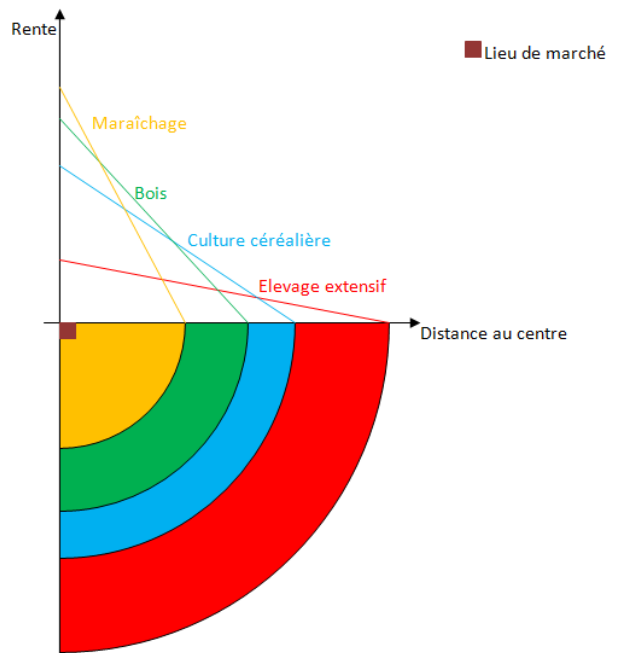
$$d = \frac{p_i - c_i}{t}$$

avec  $r_i(d) = 0$

De la même manière, la rente  $r_i(d)$  est maximisée lorsque la distance est nulle ( $d = 0$ ). Le lieu de production est alors le lieu de marché.

L'utilisation du sol est alors essentiellement fonction de la distance et les coûts de transport constituent de ce fait un facteur déterminant dans la localisation des activités. Sur cette base, Von Thünen définit quatre zones d'activités organisées de manière concentrique par ordre d'intensité autour du lieu de marché :

**Figure 2 : Localisation des cultures selon Von Thünen**

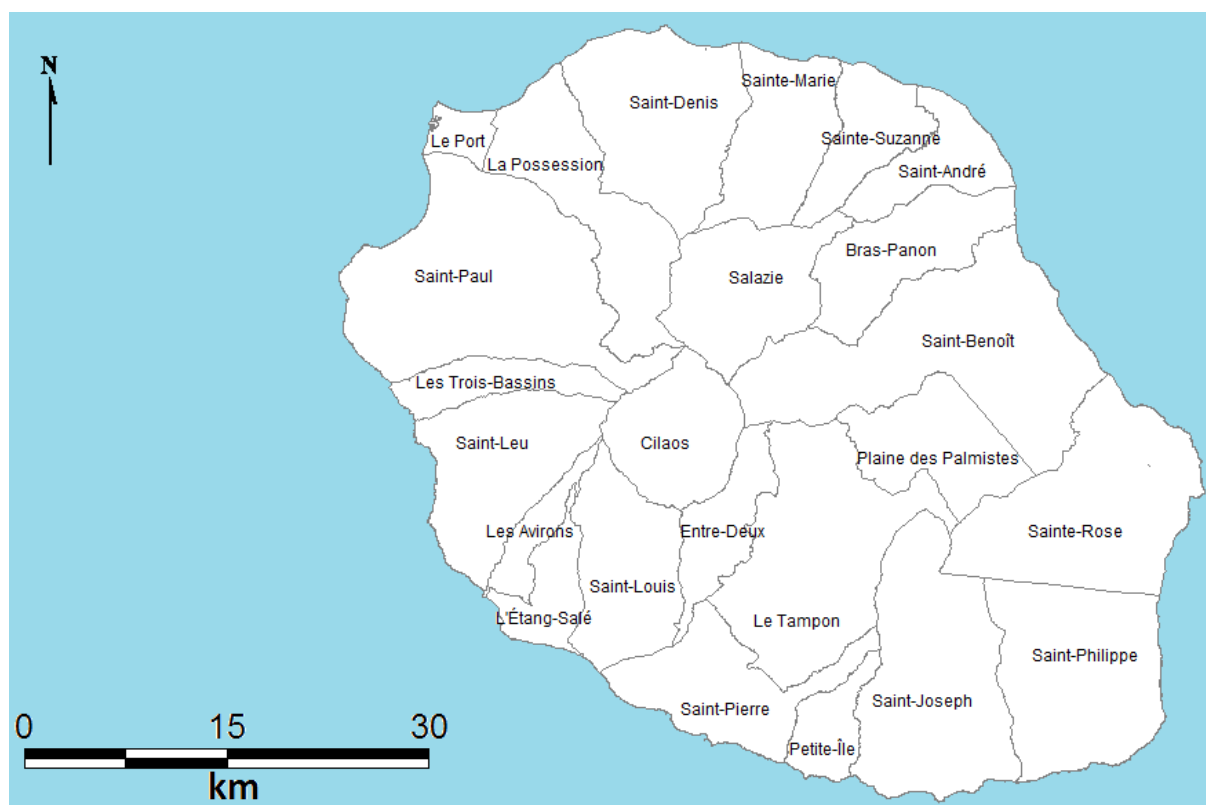


Réalisation : F. Bénard, 2012

Les limites du modèle de Von Thünen résident dans ses hypothèses même. Outre l'irréalisme de l'isotropie de l'espace, le modèle thünenien traduit un espace urbain monocentrique qui ne colle pas à la réalité et la complexité des espaces urbains actuels (Péguy, 2000). Ainsi, ces travaux ont donné suite à une littérature prolifique appelée Nouvelle Economie Urbaine. Les modèles de la Nouvelle Economie Urbaine initiés par les travaux d'Alonso (1964), Mills (1972) et Muth (1969), s'attachent à comprendre les logiques de localisations sur un espace similaire à celui de Von Thünen (Pouyanne, 2004). Dans ces modèles, le principal facteur explicatif des choix de localisation est la distance par rapport à un centre défini. Coûts de transport et coûts fonciers sont des facteurs secondaires (puisque'ils sont intrinsèquement liés à la distance au centre). Une relecture synthétique est proposée par Fujita en 1989.

# Annexe 2 : Cartes de l'Île de La Réunion

Carte 7 : Communes de l'Île de La Réunion



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

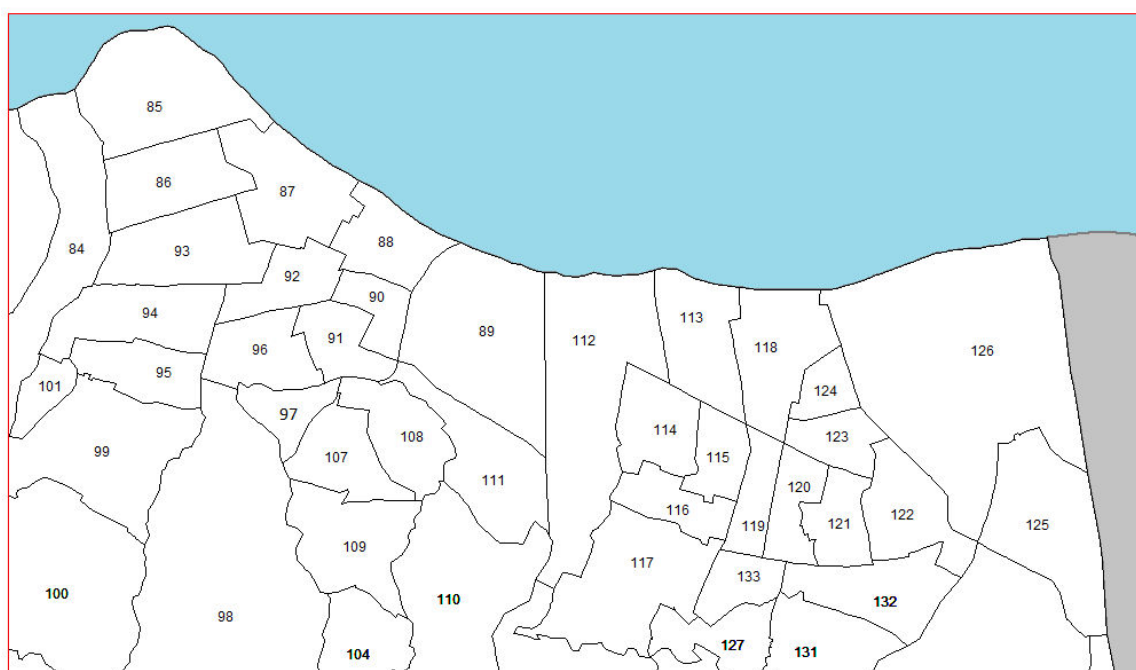
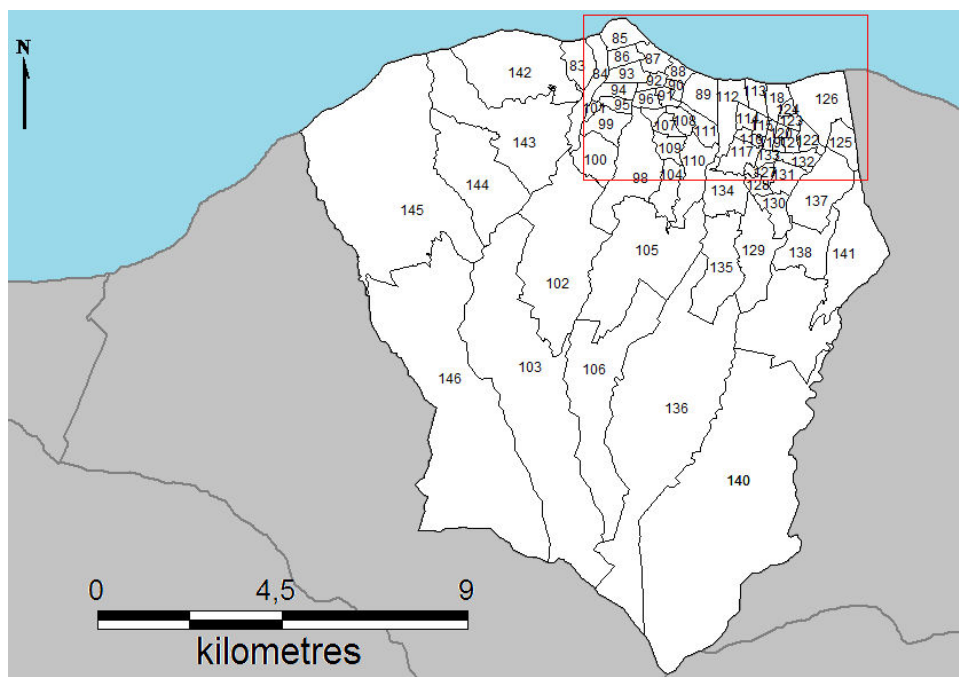
**Carte 8 : Photo satellite de l'Île de La Réunion**



Source : Google Earth, 2012 ; Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

# Annexe 3 : Aire Urbaine de Saint-Denis, numérotation des IRIS

Carte 9 : IRIS de la commune de Saint-Denis



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

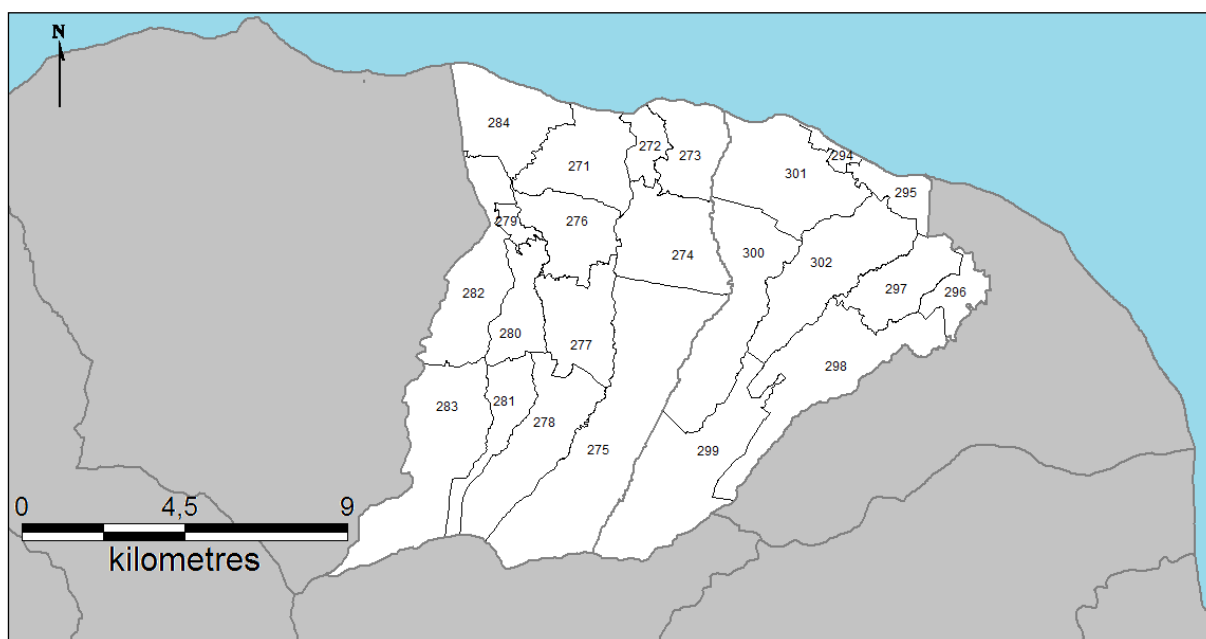
**Tableau 3 : IRIS de la commune de Saint-Denis**

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
83	La Petite Ile-La Redoute	H
84	Le Bas de la Riviere	H
85	Le Barachois-Gare Routiere	H
86	Marechal Leclerc-La Poste	H
87	Marechal Leclerc-Le Petit Marche	H
88	Marechal Leclerc-Le Butor	H
89	Le Butor-Champ Fleuri	H
90	Vauban-Bouvet	H
91	Bouvet-Cgss	H
92	St-Jacques-Decaen	H
93	Le Jardin de l'Etat-Joinville	H
94	Le Jardin de l'Etat-Bertin	H
95	La Source-Ruisseau des Noirs	H
96	Mazagran-Bois de Nefles	H
97	La Providence-Jacques Coeur	H
98	La Providence-Onf	H
99	Mairie de Bellepierre-Les Saphirs	H
100	Hauts de Bellepierre	H
101	Chd-lufm	A
102	Le Brule	H
103	Foret du Brule	D
104	St-Francois Bas	H
105	St-Francois Hauts	H
106	Foret de St-Francois	D
107	Les Camelias	H
108	La Trinite-Chateau Morange	H
109	Le Bas des Rampes-La Chaumiere	H
110	Ces Montgaillard	H
111	La Mediatheque	H
112	Les Deux Canons-Finette	H
113	Lory Les Bas	H
114	La Mairie de Sainte-Clotilde	H
115	l'Ecole d'Application Bossard	H
116	Les Tamarins-Lory Les Hauts	H
117	Clinique Ste-Clotilde	H
118	Eglise-Piscine du Chaudron	H

<b>119</b>	Le Mail Ouest	H
<b>120</b>	Le Mail Est	H
<b>121</b>	Bas du Moufia	H
<b>122</b>	Eudoxie Nonge	H
<b>123</b>	Michel Debre-Damase Legros	H
<b>124</b>	Michel Debre-Mairie du Chaudron	H
<b>125</b>	Commune Prima	H
<b>126</b>	Zone Industrielle du Chaudron	A
<b>127</b>	Les Olympiades-G.brassens	H
<b>128</b>	Mairie-Pierre et Sable- Bancouliers	H
<b>129</b>	Les Ananas-Hauts du Moufia	H
<b>130</b>	Moufia Est-Les Tulipiers	H
<b>131</b>	l'Eglise-Moulin à Vent	H
<b>132</b>	Ddass-Foucherolles	H
<b>133</b>	Rectorat-Universite	A
<b>134</b>	Bois de Nefles-Finette	H
<b>135</b>	Mairie et Hauts du Bois de Nefles	H
<b>136</b>	Foret du Bois de Nefles	D
<b>137</b>	Grand Canal-Le Stade	H
<b>138</b>	Mairie de la Bretagne-Centre	H
<b>139</b>	Bellevue-l'Eglise	H
<b>140</b>	Foret de la Bretagne	D
<b>141</b>	Domenjod	H
<b>142</b>	7eme Km-La Vigie-Les Brises	H
<b>143</b>	9eme Km-Moulin Cader-Colorado	H
<b>144</b>	12eme Km-Le Ruisseau Blanc	H
<b>145</b>	St-Bernard	H
<b>146</b>	La Montagne-Plaine d'Affouches	D

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

## Carte 10 : IRIS des communes de Sainte-Marie et Sainte-Suzanne



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 4 : IRIS des communes de Saint-Denis et Sainte Suzanne

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
<b>271</b>	Centre Ville Ouest	H
<b>272</b>	Centre Ville Est	H
<b>273</b>	Ravine des Chevres-La Convenance	H
<b>274</b>	Terrain Elisa-Beaufond	H
<b>275</b>	Plaine des Fougères-Charpentier	D
<b>276</b>	La Ressource-Bois Rouge	H
<b>277</b>	La Ressource-Beaumont-Montee Sano	H
<b>278</b>	Plaine des Fougères-Beaumont	D
<b>279</b>	La Grande Montee Centre	H
<b>280</b>	La Confiance-l'Esperance	H
<b>281</b>	Plaine des Fougères-l'Esperance	D
<b>282</b>	La Riviere des Pluies	H
<b>283</b>	Plaine des Fougères-Moka	D
<b>284</b>	Gillot-La Mare-Duparc	H
<b>294</b>	Centre Ville-Mairie	H
<b>295</b>	Village Desprez-La Marine	H
<b>296</b>	Quartier Francais-Ste Vivienne	H
<b>297</b>	Quartier Francais-Communes Carron-Ango	H
<b>298</b>	Deux Rives	H

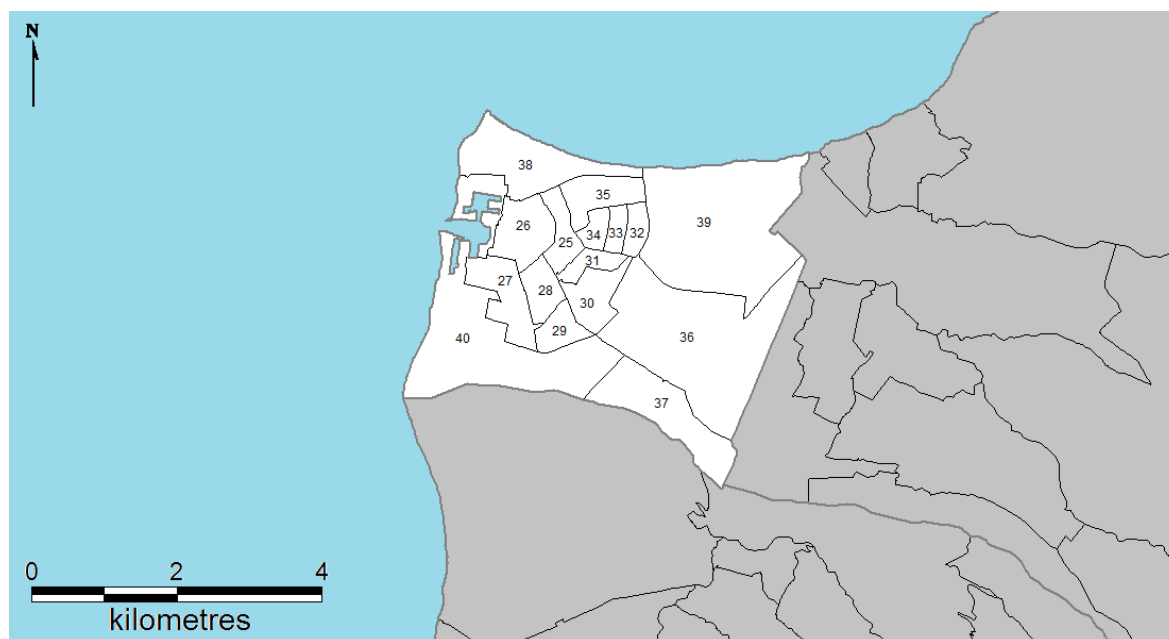


<b>299</b>	Foret des Hauts de Ste-Suzanne	D
<b>300</b>	Bagatelle	H
<b>301</b>	Les Jacques-Bel Air	H
<b>302</b>	La Renaissance	H

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

# Annexe 4 : Aire Urbaine de Saint-Paul- Le Port, numérotation des IRIS

Carte 11 : IRIS de la commune du Port



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

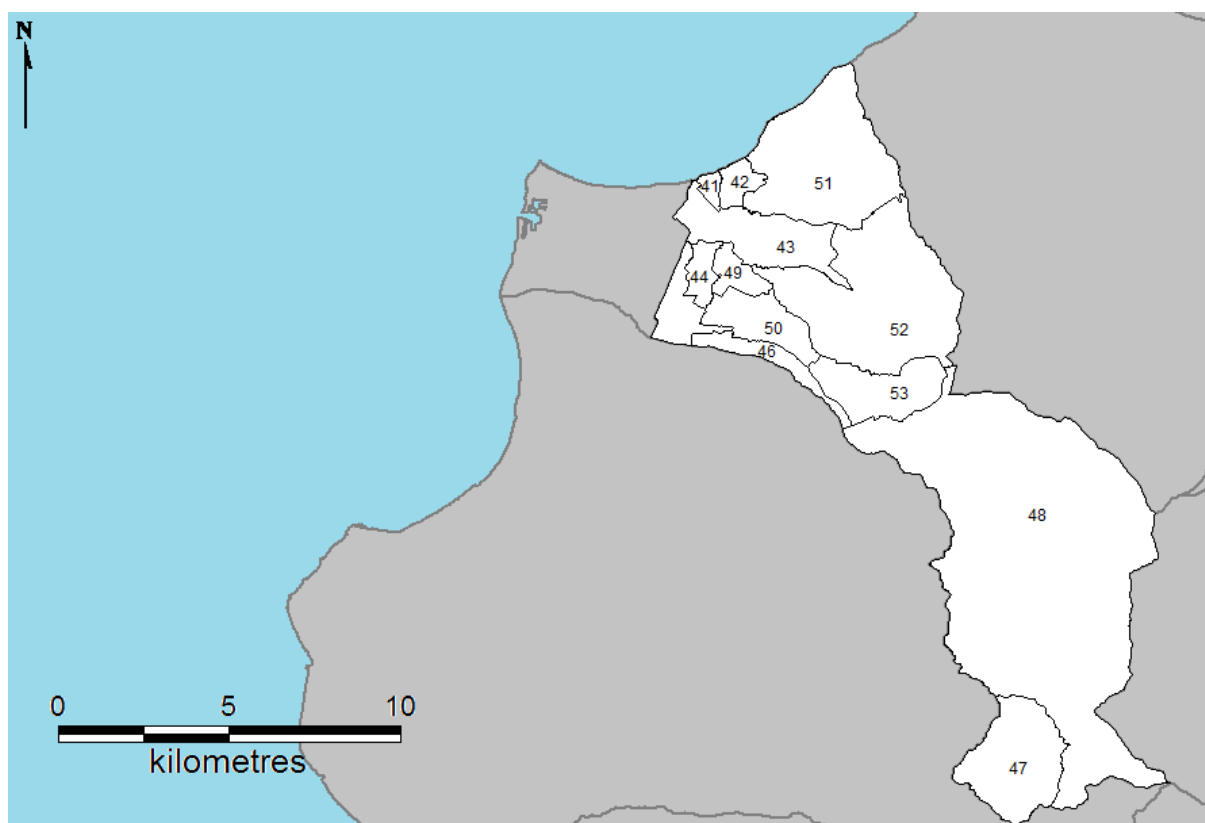
Tableau 5 : IRIS de la commune du Port

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
25	Centre Ville Est	H
26	Centre Ville Ouest	H
27	Satec	H
28	Sidr Basse	H
29	Sidr Haute-Cite A. Bolon	H
30	Zac-Cite Coeur Saignant	H
31	Zac-Cites r Verges et l'Lepervanche	H
32	Zup-Cite Maloya	H
33	Zup Iii	H
34	Zup Iii-Square Jean Xxiii	H
35	Zup-Cite du Stade	H

<b>36</b>	Riviere des Galets-Cite Ravine à Marquet	H
<b>37</b>	Riviere des Galets-Village	H
<b>38</b>	Zone Industrielle Numero 1	A
<b>39</b>	Zones Industrielles Numero 2 et 3	A
<b>40</b>	Zic Port de la Pointe des Galets	A

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Carte 12 : IRIS de la commune de La Possession



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 6 : IRIS de la commune de La Possession

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
<b>41</b>	Centre Ville	H
<b>42</b>	Le Camp Magloire	H
<b>43</b>	La Ravine à Marquet	H
<b>44</b>	Zac St-Laurent	H
<b>45</b>	La Riviere des Galets	H
<b>46</b>	Lit de la Riviere des Galets	D
<b>47</b>	Mafate-La Nouvelle	D

<b>48</b>	Mafate-Gd Place-Aurere-Ilets à B.et M.	D
<b>49</b>	Ste-Therese	H
<b>50</b>	Pichette	H
<b>51</b>	La Ravine à Malheur	H
<b>52</b>	La Montagne-Secteur Possession	D
<b>53</b>	Dos d'Ane	H

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Carte 13 : IRIS de la commune de Trois-Bassins



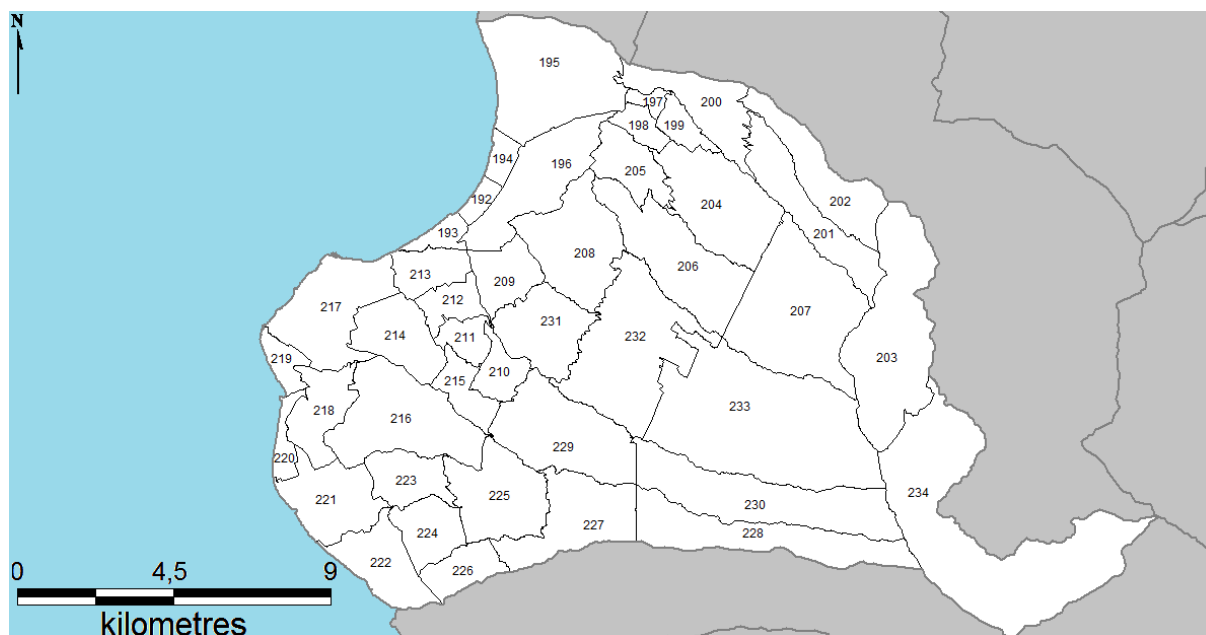
Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 7 : IRIS de la commune de Trois-Bassins

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
<b>336</b>	Centre Ville	H
<b>337</b>	Ecarts de Trois Bassins	H
<b>338</b>	Foret des Hauts de Trois Bassins	D
<b>339</b>	La Souris Blanche	H

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

## Carte 14 : IRIS de la commune de Saint-Paul



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 8 : IRIS de la commune de Saint-Paul

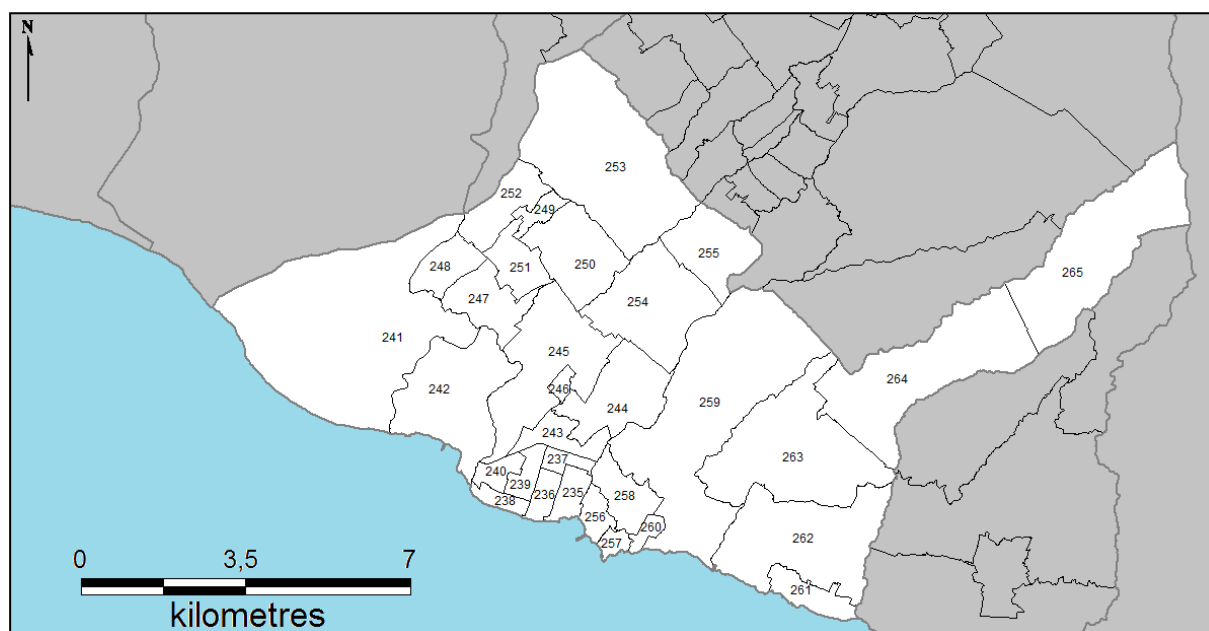
Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
192	Gare Routiere-St Charles	H
193	Mairie-Hopital Gabriel Martin	H
194	l'Etang	H
195	Le Stade-Cambaie	H
196	Grande Fontaine-Le Tour des Roches	H
197	Bas de la Plaine	H
198	La Plaine-Bas de Mon Repos	H
199	Hauts de la Plaine	H
200	Sans Souci	H
201	Foret des Hauts de Sans Souci	D
202	Riviere des Galets-Canalisation	D
203	Mafate-Les Orangers-Les Lataniers	D
204	Le Bois de Nefles-Mon Repos	H
205	Bois de Nefles-St Paul Centre	H
206	Le Ruisseau	H
207	Foret des Hauts du Bois de Nefles	D
208	Bellemene	H
209	Bois Rouge	H
210	Le Bernica	H
211	Fleurimont Hauts-Grande Terre	H

<b>212</b>	La Renaissance-Lyceé Plateau Caillou	H
<b>213</b>	Plateau Caillou	H
<b>214</b>	l'Eperon-Tamatave	H
<b>215</b>	St-Gilles Les Hauts Centre et Hauts	H
<b>216</b>	Villele	H
<b>217</b>	Boucan Canot-Grand Fond	H
<b>218</b>	Carosse-Ravine St-Gilles	H
<b>219</b>	St-Gilles Les Bains Centre	H
<b>220</b>	St-Gilles-l'Ermitage	H
<b>221</b>	La Saline-l'Ermitage	H
<b>222</b>	La Saline-Trou d'Eau	H
<b>223</b>	La Saline-l'Ermitage Les Hauts (nord)	H
<b>224</b>	La Saline-La Montée Panon (sud )	H
<b>225</b>	Vue Belle et Hauts	H
<b>226</b>	Le Barrage	H
<b>227</b>	Saint-Coeur-Ravine Daniel	H
<b>228</b>	Forêt des Hauts de Saint-Coeur	D
<b>229</b>	Tan Rouge	H
<b>230</b>	Forêt des Hauts de Tan Rouge	D
<b>231</b>	Le Guillaume-Centre	H
<b>232</b>	Le Guillaume-La Petite France	H
<b>233</b>	Forêt des Hauts de la Petite France	D
<b>234</b>	Mafate-Roche Plate-Marla	D

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

# Annexe 5 : Aire urbaine de Saint-Pierre , numérotation des IRIS

Carte 15 : Iris de la commune de Saint-Pierre



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

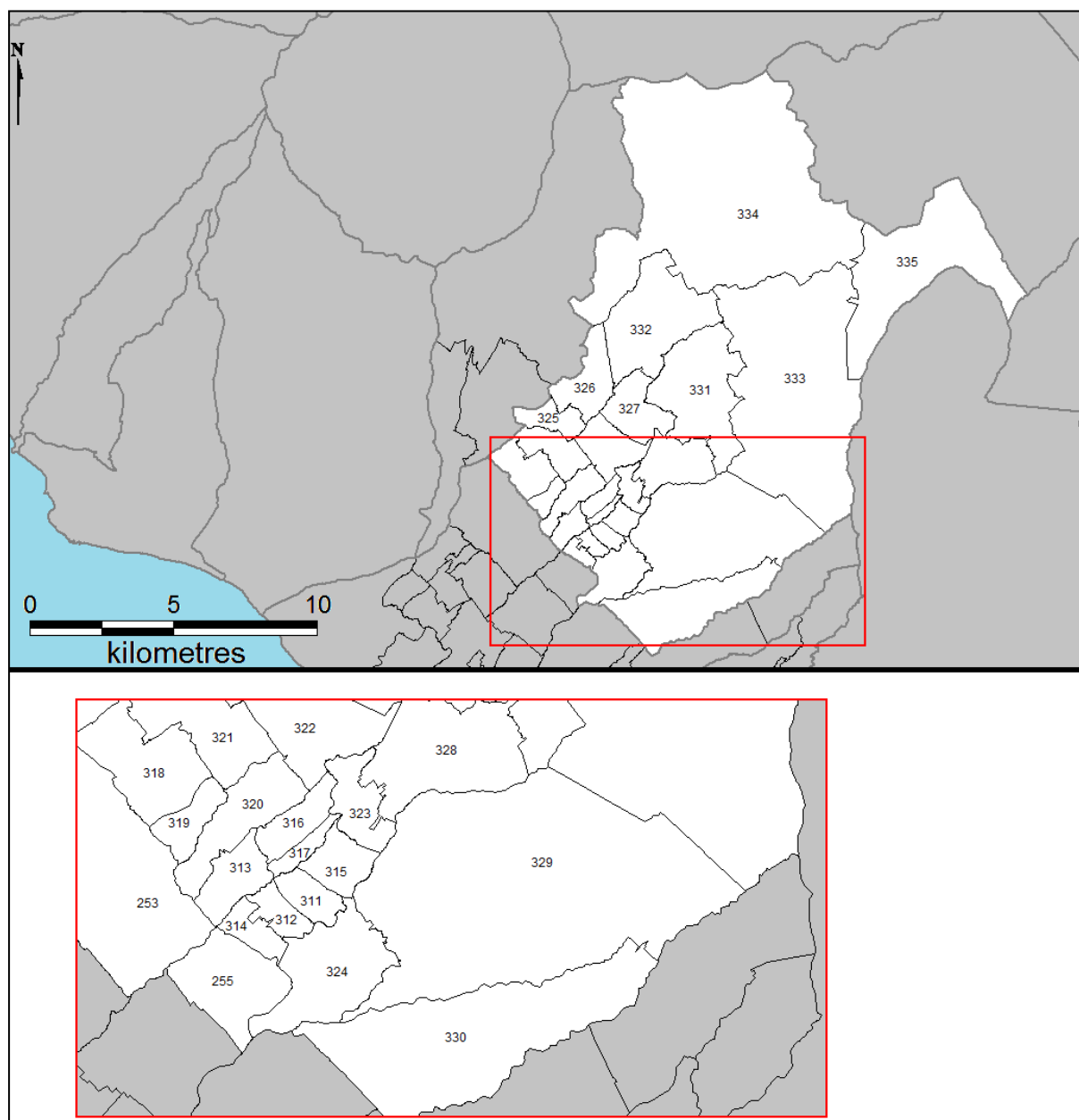
Tableau 9 : IRIS de la commune de Saint-Pierre

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
235	Centre Ville Est-La Mairie	H
236	Centre Ville Ouest-La Poste-Le Marche	H
237	Zac Banck-La Charite	H
238	Sidr-Front de Mer	H
239	Sidr Est-La Cayenne	H
240	Sidr Ouest-Ravine Blanche	H
241	Pierrefonds	H
242	Zones Industrielles 1 et 3	A
243	Les Casernes-Joli Fond	H
244	Basse Terre Centre et Hauts-Rn3	H
245	La Ligne Paradis	H
246	Zone Industrielle 2	A
247	Bois d'Olives-Est	H
248	Bois d'Olives-Ouest	H

<b>249</b>	La Ravine des Cabris-Centre	H
<b>250</b>	La Ravine des Cabris-Est	H
<b>251</b>	La Ravine des Cabris-Sud	H
<b>252</b>	Les Assises-Trois Mares	H
<b>253</b>	Les Hauts de la Ravine des Cabris	H
<b>254</b>	La Ligne des Bambous-Centre	H
<b>255</b>	La Concession Conde	H
<b>256</b>	Terre Sainte-La Mairie	H
<b>257</b>	Terre Sainte-Le Trou du Chat	H
<b>258</b>	l'Asile-Zac Ocean Indien	H
<b>259</b>	Terre Rouge-Bassin Plat-Bassin Martin	H
<b>260</b>	Chsr	A
<b>261</b>	Grands Bois-Centre	H
<b>262</b>	Grands Bois Les Hauts-Cafrine-R. Cafres	H
<b>263</b>	Montvert Les Bas	H
<b>264</b>	Montvert Les Hauts	H
<b>265</b>	Foret des Hauts de Montvert	D



## Carte 16 : IRIS de la commune du Tampon



Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

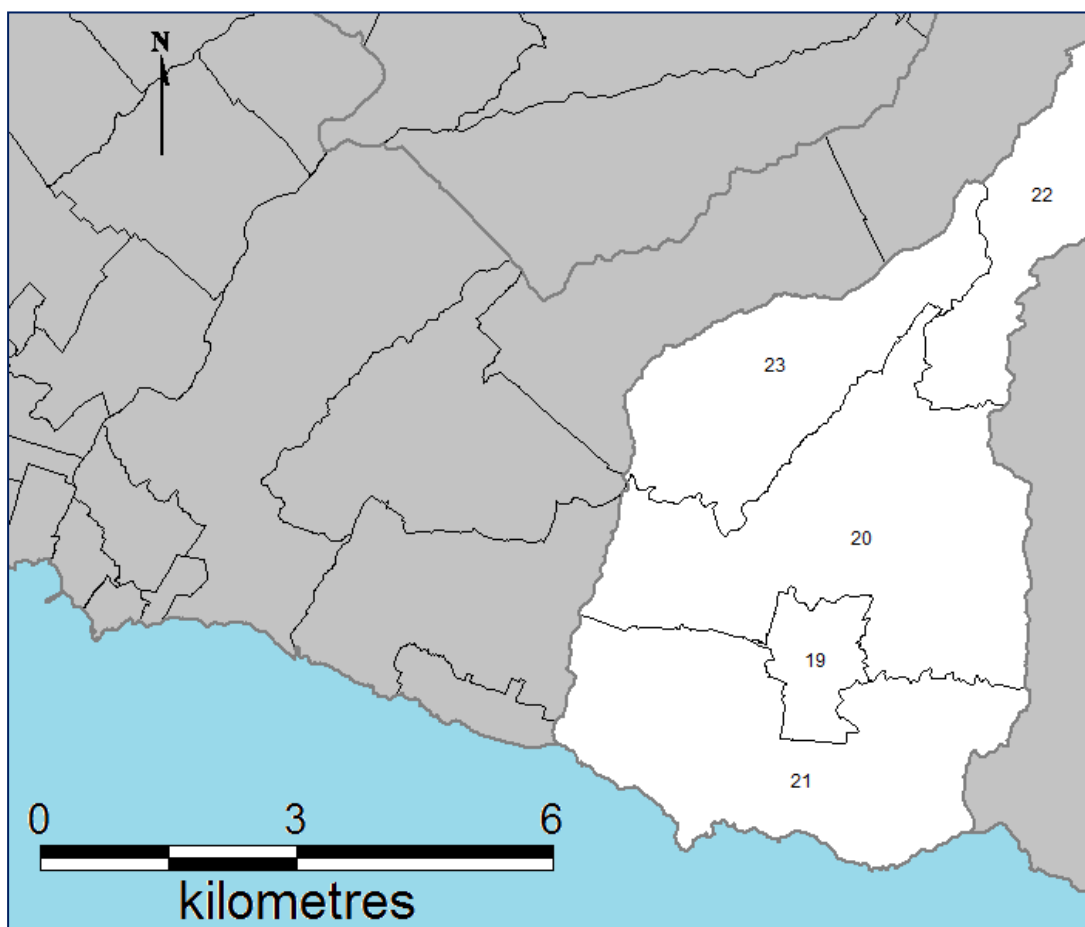
### Tableau 10 : IRIS de la commune du Tampon

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
311	Centre Ville-Mairie	H
312	Centre Ville-Gendarmerie	H
313	La Chatoire-La Roseaie	H
314	Cite de la Sidr-Croisee des 400	H
315	Le Lycee du Tampon 10eme Km	H
316	Le 11 Eme Km-Couchant de la R. Blanche	H
317	Le 11 Eme Km	H

<b>318</b>	Le Dassy	H
<b>319</b>	Les 400-La Ravine des Cabris	H
<b>320</b>	La Ravine des Cabris-l'Hermitage	H
<b>321</b>	Les Trois Mares Nord	H
<b>322</b>	Le 14 Eme Km	H
<b>323</b>	Le 12 Eme Km	H
<b>324</b>	Terrain Fleuri-La Pointe	H
<b>325</b>	Le Bras de Pontho	H
<b>326</b>	Le Pont d'Yves	H
<b>327</b>	Le 17 Eme Km	H
<b>328</b>	Bras Creux	H
<b>329</b>	Le Petit Tampon-Grand Tampon	H
<b>330</b>	Berive	H
<b>331</b>	Les 19 et 23 Eme Km	H
<b>332</b>	Bois Court-Piton Hyacinthe	H
<b>333</b>	Bourg Murat-Route Notre Dame de la Paix	H
<b>334</b>	Zone Forestiere de la Plaine des Cafres	D
<b>335</b>	Zone Forestiere du Volcan	D

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Carte 17 : IRIS de la commune de Petite-Île



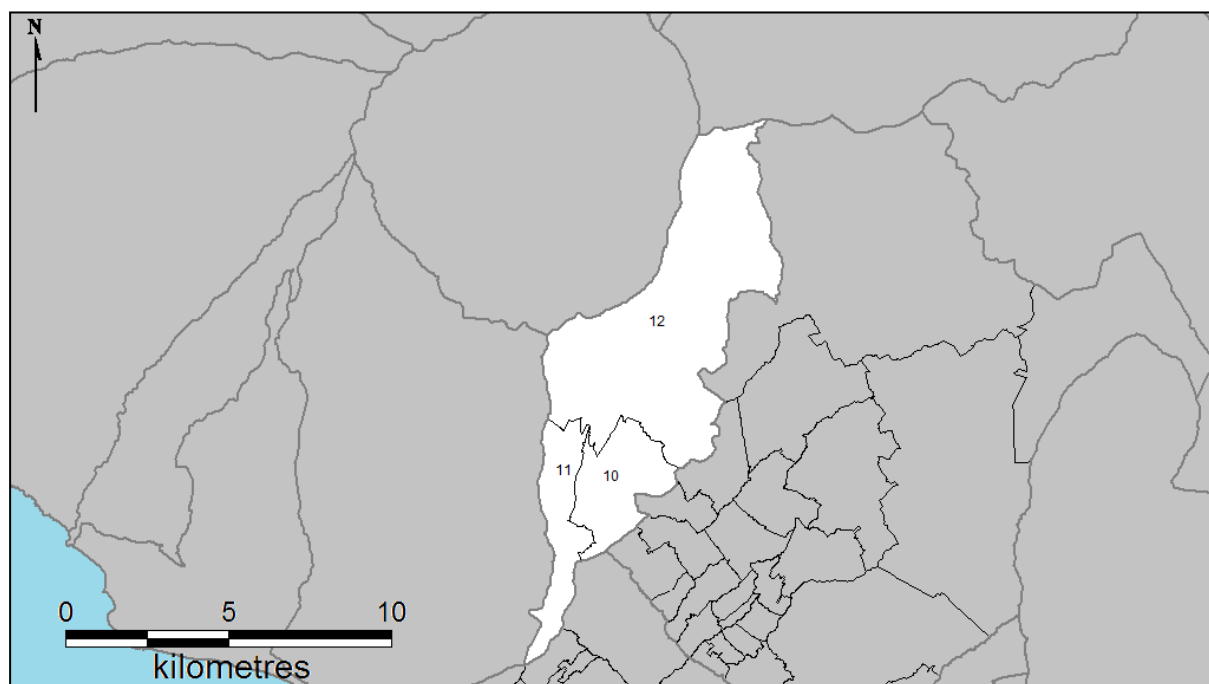
Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 11 : IRIS de la commune de Petite-Île

Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
19	Centre Ville	H
20	La Ravine du Pont-Manapany Les Hauts	H
21	Manapany Les Bas-Anse Les Bas	H
22	Zone Forestiere des Hauts	D
23	Piton Goyaves	H

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Carte 18 : IRIS de la commune de l'Entre-Deux



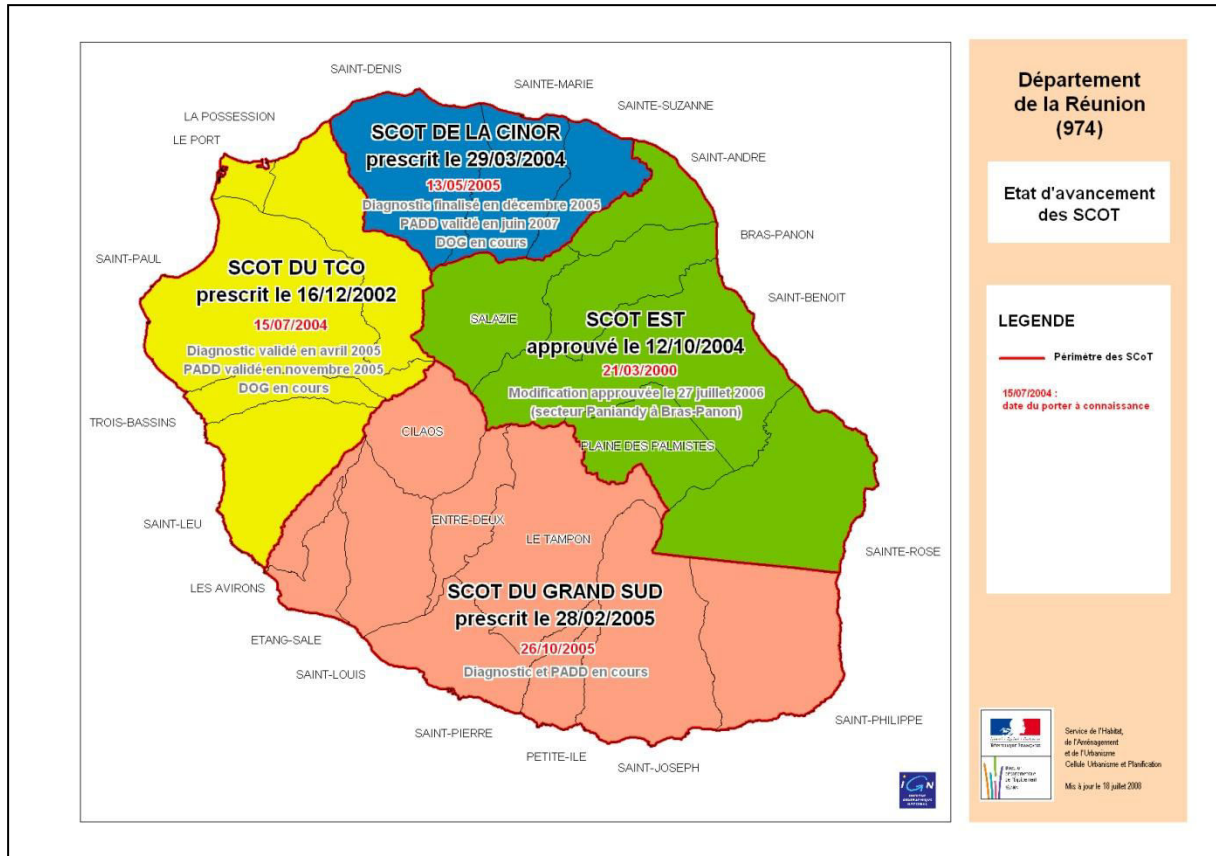
Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

### Tableau 12 : IRIS de la commune de l'Entre-Deux

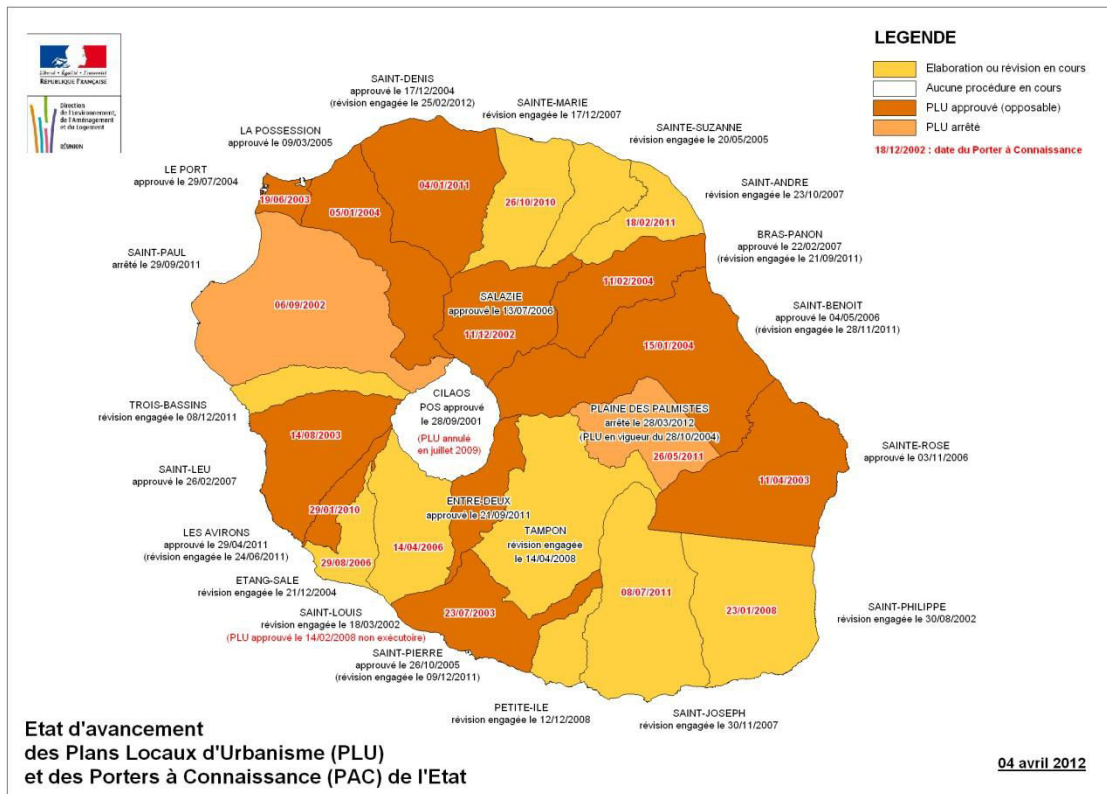
Code attribué	Libellé de l'IRIS	Type d'IRIS
<b>10</b>	Bras Long-Ravine des Citrons	H
<b>11</b>	Le Serre-La Mare-Grand Fond	H
<b>12</b>	Zone des Hauts de l'Entre Deux	D

Conception et réalisation : F. Bénard, 2012

# Annexe 6 : Etat d'avancement des SCOT



# Annexe 7 : Etat d'avancement des PLU











# Annexe 8 : Légende des cartes dynamiques de l'Agorah sur la localisation des zones d'activités





## Nomenclature des filières d'activités

---

### Activité économique :

-  Eau, Energie, Dechets : déchetterie, activités de recyclage
-  Tertiaire tres qualifie : informatique, banques et assurances, conseil, experts, comptable, siège sociaux...
-  BTP : construction et vente et location de matériel
-  Autres : restauration, transport de voyageurs, service public, santé, social, loisir
-  Automobile : commerce (véhicules et pièces détachés) et garages
-  Commerce detail : hypermarchés, supermarché, commerces marchands
-  Logistique, Distribution : transport, service auxiliaires de transport, stockage, commerce de gros
-  Production : activités industrielles et artisanat de production

### Hors activité économique :

-  Habitation
-  Parkings
-  En friche, nu ou desafecte
-  Projet identifie ou parcelle en construction

## TABLE DES MATIERES

---

<b>Introduction générale.....</b>	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 1.....</b>	<b>12</b>
<b>Analyse hiérarchique des espaces urbains à La Réunion.....</b>	<b>12</b>
Introduction du chapitre .....	14
I. Les modèles rang-taille, outil d'analyse de la structure urbaine .....	15
I.1 La loi de Zipf-Pareto .....	15
I.2 Application en sciences régionales .....	16
I.3 Controverses méthodologiques .....	18
II. Les modèles rang-taille à travers la densité urbaine : application au cas réunionnais .	21
II.1 Le contexte réunionnais .....	21
II.2 Méthodologie appliquée.....	26
II.3 Résultats .....	28
II.4 « Discussion des résultats ».....	32
Conclusion du chapitre.....	38
<b>CHAPITRE 2.....</b>	<b>39</b>
<b>La densité, outil d'analyse de la forme urbaine à travers le phénomène de l'étalement urbain .....</b>	<b>39</b>
Introduction du chapitre .....	42
I. Aperçu théorique de la relation densité-distance .....	43
I.1 Le modèle originel : la loi de Clark.....	43
I.2 Premières critiques du modèle de Clark et apparition du modèle quadratique ....	44
I.3 Le modèle de Bussière .....	46
I.3.1 La forme statique .....	47
I.3.2 Le modèle dynamique.....	47
I.3.3 Le modèle amendé.....	48
I.4 D'autres modèles de la densité : approche polycentrique .....	48
I.4.1 Les fonctions de densité sur des modèles polycentriques.....	50
I.4.2 Les fonctions de densité sur des configurations dispersées .....	52
I.5 D'autres indicateurs de forme urbaine .....	53
II. Les différents facteurs explicatifs de la forme urbaine .....	54
II.1 Les facteurs issus des modèles de l'économie urbaine .....	55



II.1.1	Le revenu.....	55
II.1.2	Transports et coûts de transport .....	56
II.1.3	Les coûts fonciers.....	57
II.2	Autres variables explicatives.....	57
II.2.1	La taille de la ville .....	57
II.2.2	L'âge de la ville .....	59
II.2.3	La proportion d'usine localisée en banlieue et le niveau de déformation des villes ( <i>shape distortion</i> ).....	59
II.2.4	Ségrégation et densité : « The white flight from blight ».....	59
III.	Application : Quelles formes urbaines trouvent-on à la Réunion ? Analyse des trois principales aires urbaines .....	60
III.1	Contexte : présentation des trois aires urbaines .....	60
III.1.1	Localisation.....	61
III.1.2	Bases de données.....	66
III.1.1	Identification des centres.....	66
III.2	Indices de concentration.....	71
III.2.1	Indice d'étalement de Lopez et Hynes .....	72
III.2.2	Discussion.....	74
III.3	La forme monocentrique est-elle adaptée aux aires urbaines réunionnaises ?.....	76
III.3.1	Saint-Denis : un espace radioconcentrique.....	77
III.3.2	Saint-Paul-Le Port : un étalement linéaire dépendant des axes de transport .....	80
III.3.3	Saint-Pierre : un étalement diffus, un espace polycentrique ?.....	84
	Conclusion du chapitre.....	97

## **CHAPITRE 3..... 100**

### **L'interaction forme urbaine et transport ..... 100**

	Introduction du chapitre .....	102
I.	L'étude des interactions transport-urbanisme .....	103
I.1	Les modèles à quatre étapes .....	105
I.1.1	Les modèles de génération .....	106
I.1.2	Les modèles de distribution .....	107
I.1.3	Les modèles de choix modal .....	108
I.1.4	Les modèles d'affectation .....	109
I.2	Les modèles LUTI : Land Use and Transport Interaction .....	110
II.	Application : l'interaction transport-urbanisme à la Réunion.....	115
II.1	Qualification du réseau routier réunionnais .....	116
II.2	Le choix entre temps d'accès et distance kilométrique.....	119
II.3	Saint-Denis : des temps d'accès structurants .....	122
II.4	Saint-Paul-Le Port et Saint-Pierre : les routes au cœur du développement urbain	

Conclusion du chapitre.....	132
<b>CHAPITRE 4.....</b>	<b>134</b>
<b>La Réunion en 2030, quelles évolutions pour les principales aires urbaines ?.....</b>	<b>134</b>
Introduction du chapitre .....	136
I. Analyse dynamique sur la période 1990-2008.....	137
I.1 Saint-Denis : une croissance restreinte.....	138
I.2 Saint-Paul- Le Port : un étalement sans limite précise.....	145
I.3 Saint-Pierre, un étalement sans limite ? .....	150
II. Quelles évolutions de l'étalement urbain en 2030 ? Quelques scénarios .....	154
II.1 Méthodologie de prévision.....	155
II.2 Aire urbaine de Saint-Denis : une densification du centre.....	157
II.3 Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port : un étalement urbain en deux temps ou un étalement urbain continu favorisé par la route des Tamarins.....	163
II.4 Aire urbaine de Saint-Pierre : évolution constante ou densification des centres.....	172
Conclusion du chapitre.....	180
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>182</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>184</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>194</b>
<b>Annexe 1 : La théorie de Von Thünen .....</b>	<b>195</b>
<b>Annexe 2 : Cartes de l'Île de La Réunion .....</b>	<b>198</b>
<b>Annexe 3 : Aire Urbaine de Saint-Denis, numérotation des IRIS .....</b>	<b>200</b>
<b>Annexe 4 : Aire Urbaine de Saint-Paul- Le Port, numérotation des IRIS.....</b>	<b>205</b>
<b>Annexe 5 : Aire urbaine de Saint-Pierre , numérotation des IRIS.....</b>	<b>210</b>
<b>Annexe 6 : Etat d'avancement des SCOT .....</b>	<b>216</b>
<b>Annexe 7 : Etat d'avancement des PLU .....</b>	<b>217</b>
<b>Annexe 8 : Légende des cartes dynamiques de l'Agorah sur la localisation des zones d'activités .....</b>	<b>218</b>

## TABLE DES FIGURES

---

Figure 1 : Cadre conceptuel de la réflexion de thèse .....	9
Figure 1.2: Interprétation du coefficient quadratique de Rosen et Resnick (1980) .....	17
Figure 1.3 : Représentation graphique de la densité urbaine sur l'île de la Réunion, 1990-1999-2008.....	28
Figure 1.4 : Représentation graphique du diagramme de Moran.....	33
Figure 1.5 : Diagrammes de Moran 1990-1999-2008.....	35
Figure 2.1 : Test de la relation distance-densité selon Clark .....	44
Figure 2.2 : Les profils de densité selon Newling.....	45
Figure 2.3 : Représentation graphique du modèle dynamique de Bussière .....	47
Figure 2.4 : Découpage de la ville en secteurs selon Hoyt (1939).....	52
Figure 2.5: Rapport entre la taille de la ville et le gradient de densité aux Etats-Unis (a) et en Asie (b).....	58
Figure 2.6 : Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port, population cumulée en 2008 : comparaison entre courbe empirique et courbe théorique (modèle amendé) .....	81
Figure 2.7 : Courbes de population cumulée de l'aire urbaine de Saint-Pierre .....	84
Figure 2.8 : Application du modèle de Bussière sur l'aire urbaine de Saint-Pierre, centre $\beta$ , 2008.....	86
Figure 2.9 : Courbes de population cumulée depuis le centre $\omega$ .....	88
Figure 2.10 : Courbe de Lorenz appliquée à la répartition de la population sur le territoire ...	92
Figure 2.11 : Approche polycentrique : comparaison des courbes empiriques et théoriques ..	95
Figure 3.1 : Modèles de l'école de Chicago .....	105
Figure 3.2 : Distribution des déplacements .....	107
Figure 3.3 : Conceptualisation du fonctionnement du système de transport selon Manheim	111
Figure 3.4 : Classification des modèles LUTI selon Simmonds et al. 1999 .....	112
Figure 3.5 : Répartition des modes de déplacements à La Réunion, de 2002 à 2007 .....	118
Figure 3.6 : Courbes de population cumulée en fonction de la distance radiale au centre ....	121
Figure 3.7 : Courbes de population cumulée selon l'application du modèle de Bussière à Saint-Denis (en %)......	124
Figure 3.8 : Répartition du bâti (en%) autour des axes de transport, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port.....	127
Figure 3.9 : Répartition du bâti (en%) autour des axes de transport, Aire urbaine de Saint-Pierre .....	131
Figure 4.1 : Évolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Denis entre 1990 et 2008.....	138

Figure 4.2 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Denis .....	141
Figure 4.3 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990-1999 et 1999-2008, Aire urbaine de Saint-Denis .....	142
Figure 4.4 : Répartition des types de logement dans la zone centrale de l'aire urbaine de Saint-Denis.....	144
Figure 4.5 : Évolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port entre 1990 et 2008 .....	146
Figure 4.6 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port .....	148
Figure 4.7 : Analyse dynamique des courbes de différences de population cumulée A et B, aire urbaine de Saint-Paul- Le Port .....	149
Figure 4.8 : Évolution de la densité des IRIS de l'aire urbaine de Saint-Pierre entre 1990 et 2008.....	150
Figure 4.9 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990 et 2008, Aire urbaine de Saint-Paul- Le Port .....	152
Figure 4.10 : Analyse dynamique de l'évolution de la population entre 1990-1999 et 1999-2008, Aire urbaine de Saint-Pierre.....	153
Figure 4.11 : Estimation de la part de la population de chaque aire urbaine en 2030, Régression polynomiale d'ordre 2 .....	156
Figure 4.12 : Estimation de la part de la population centrale de l'aire urbaine de Saint-Denis en 2030, scénario 1, régression polynomiale d'ordre 2.....	158
Figure 4.13 : Comparaison des courbes de population cumulée en 2008 et de la courbe prévisionnelle de population cumulée en 2030, Aire urbaine de Saint-Denis, Scénario 1 ....	159
Figure 4.14 : Courbe de population cumulée en 2030 à Saint-Paul-Le Port, Résultat du scénario 1.....	165
Figure 4.15 : Courbe de population cumulée en 2030 à Saint-Paul-Le Port, Résultat du scénario 2.....	169
Figure 4.16 : Comparaison des scénarios 1 et 2 de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port .....	170
Figure 4.17 : Estimation de la part de la population centrale de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030, scénario 1, régression polynomiale d'ordre 2.....	173
Figure 4.18 : Comparaison des courbes de population cumulée en 2008 et de la courbe prévisionnelle de population cumulée en 2030, Aire urbaine de Saint-Denis, Scénario 1 ....	174

## TABLE DES CARTES

---

Carte 1.1 : Le relief de la Réunion .....	22
Carte 1.2 : Localisation du bâti et des principaux points d'échange avec l'extérieur .....	23
Carte 1.3 : Scenarii d'évolution de la tâche urbaine selon Gilles Lajoie .....	25
Carte 1.4 : Localisation des différents types d'IRIS à la Réunion.....	27
Carte 1.5 : Evolution des densités de 1990 à 2008.....	31
Carte 1.6 : Autocorrélation spatiale 1990-1999-2008.....	37
Carte 2.1 : Localisation des zones d'autocorrélation positive High-High en 2008 .....	61
Carte 2.2 : Localisation des zones d'activités dans l'Île .....	62
Carte 2.3 : Localisation des zones d'activités sur le territoire de Saint-Denis .....	62
Carte 2.4 : Localisation des zones d'activités sur le territoire du Port .....	63
Carte 2.5 : Localisation des zones d'activités sur le territoire de Saint-Pierre .....	63
Carte 2.6 : Localisation des trois principales Aires Urbaines de l'Île .....	65
Carte 2.7 : Attractivité des quartiers de la commune de Saint-Denis .....	67
Carte 2.8 : Répartition des densités de population en 2008 et localisation du centre Michel Debré – Mairie du Chaudron et du centre historique sur le territoire de l'aire urbaine de Saint-Denis.....	68
Carte 2.9 : Localisation du centre de l'Aire Urbaine de Saint-Paul.....	69
Carte 2.10 : Répartition des densités de population et localisation du centre sur le territoire de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port .....	70
Carte 2.11 : Localisation du centre de l'aire urbaine de Saint-Pierre et répartition des densités .....	71
Carte 2.12 : Répartition des IRIS selon leur densité .....	73
Carte 2.13 : Répartition des IRIS selon leur densité en 2008, par aire urbaine .....	74
Carte 2.14 : Répartition des IRIS selon leur densité en considérant le nouveau seuil d'identification des IRIS fortement dense > 5 200 hab/km <sup>2</sup> .....	75
Carte 2.15 : Répartition des IRIS selon leur densité en 2008, par aire urbaine (Nouveau seuil) .....	76
Carte 2.16 : Etalement du centre de Saint-Denis .....	79
Carte 2.17 : Répartition du bâti dans l'aire urbaine de Saint-Paul.....	81
Carte 2.18 : Représentation cartographique des résultats du double ajustement linéaire sur l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port.....	83
Carte 2.19 : ZAC Bank- La Charité, carrefour de l'aire urbaine de Saint-Pierre .....	87
Carte 2.20 : Zonage de l'aire urbaine de Saint-Pierre, centre $\omega$ .....	88
Carte 2.21 : Localisation des centres, configuration polycentrique .....	93
Carte 3.1 : Géographie et chronologie des modèles LUTI.....	115
Carte 3.2 : Le réseau routier réunionnais .....	116

Carte 3.3 : Itinéraire comparé pour un trajet en voiture particulière et un trajet en bus dans l'aire urbaine de Saint-Denis.....	118
Carte 3.4 : Temps d'accès au centre et réseau routier principal, Aire urbaine de Saint-Denis .....	124
Carte 3.5 : Localisation du bâti et principales voies de communication dans l'aire urbaine de Saint-Paul- Le Port (idem carte 2.23).....	126
Carte 3.6 : Réseau routier principal et identification des zones (centre et périphérie) de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port .....	126
Carte 3.7 : Organisation urbaine de l'aire urbaine de Saint-Pierre .....	129
Carte 3.8 : Pourcentage de surface bâtie, Aire urbaine de Saint-Pierre, 2008 .....	130

Carte 4.1 : Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Denis de 1990 à 2008 .....	139
Carte 4.2 : Représentation cartographique de l'évolution de la zone centrale de l'aire urbaine de Saint-Denis .....	143
Carte 4.3 : Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port de 1990 à 2008 .....	147
Carte 4.4 : Représentation cartographique de l'évolution des densités de l'aire urbaine de Saint-Pierre de 1990 à 2008 .....	151
Carte 4.5 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Denis en 2030 (Scénario 1). 160	
Carte 4.6 : Trafics journaliers moyen en 2008 sur le réseau routier structurant de l'Île de La Réunion .....	161
Carte 4.7 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Denis, scénario 1 .....	162
Carte 4.8 : IRIS concernés par la modification des temps d'accès, due à la Route des Tamarins .....	164
Carte 4.9 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030 (Scénario 1).....	166
Carte 4.10 : Trafic moyen journalier annuel, zone Nord-Ouest, 2008.....	167
Carte 4.11 : Migrations alternantes intercommunales susceptibles de concerner la station de comptage du Port.....	167
Carte 4.12 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par IRIS en 2030 selon le scénario 1, Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port.....	168
Carte 4.13 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2030 (Scénario 2) .....	171
Carte 4.14 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par IRIS en 2030 selon le scénario 2, Aire urbaine de Saint-Paul-Le Port.....	172
Carte 4.15 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030 (Scénario 1) .....	175
Carte 4.16 : Trafic moyen journalier, zone Sud, 2008 .....	176
Carte 4.17 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Pierre, scénario 1 .....	177

Carte 4.18 : Densités prévisionnelles de l'aire urbaine de Saint-Pierre en 2030 (Scénario 2) .....	178
Carte 4.19 : Estimation prévisionnelle du nombre d'actifs occupés par densité en 2030, Aire Urbaine de Saint-Pierre, scénario 2 .....	179

## TABLE DES TABLEAUX

---

Tableau 1.1 : Coefficients calculés des modèles de Zipf-Pareto et quadratique de Rosen et Resnick 1990- 1999-2008 .....	29
Tableau 1.2 : Indice I de Moran 1990-1999-2008 .....	34
Tableau 2.1 : Formes fonctionnelles de la fonction de densité .....	49
Tableau 2.2 : Classement des communes selon le nombre d'emplois en 2008 .....	64
Tableau 2.3 : Comptabilisation des IRIS .....	66
Tableau 2.4 : Valeur optimales des paramètres du modèle de Bussière pour chaque aire urbaine, en considérant des temps en minutes .....	77
Tableau 2.5 : Résultats du calcul des densités avec unité de surface en minutes .....	78
Tableau 2.6: Comparaison du modèle amendé et du modèle non amendé de Bussière appliqués à Saint-Paul-Le Port .....	80
Tableau 2.7 : Résultats d'une double régression linéaire .....	82
Tableau 2.8 : Valeurs des paramètres lors de l'application du modèle de Bussière .....	86
Tableau 2.9 : Valeur des paramètres lors de l'application du modèle de Bussière .....	89
Tableau 2.10 : Résultats d'une double régression linéaire .....	89
Tableau 2.11 : Résultats de l'application du modèle de Newling dans une approche polycentrique .....	94
Tableau 3.1 : Répartition du réseau routier dans les trois principales aires urbaines .....	117
Tableau 4.1 : Estimation de la part de la population des aires urbaines dans la population totale en 2030 (Régression polynomiale d'ordre 2) .....	155
Tableau 4.2 : Comparaisons des données de trafic et données de migrations alternantes (communes de l'Est vers Saint-Denis) .....	162
Tableau 4.3 : Migrations alternantes de l'aire urbaine de Saint-Paul-Le Port en 2008, couples origine-destination influençant la station de comptage du Port .....	168

## ***Formes urbaines et transport en milieu insulaire : l'exemple de La Réunion***

---

L'étalement urbain et le transport sont deux problématiques prépondérantes à La Réunion. Dans un contexte de forte croissance démographique où le million démographique est prévu pour 2030, la question de l'occupation du sol devient primordiale. Le relief réunionnais présentant des spécificités telles, que presque deux tiers de l'île sont indisponibles à l'urbanisation, la problématique de l'étalement urbain devient de plus en plus importante. Dans le même temps, le réseau routier réunionnais, limité également par le relief, est déjà saturé et la problématique transport occupe une grande place dans les préoccupations en matière d'aménagement, à l'exemple de la Route du Littoral. Ainsi, cette relation transport et aménagement est particulièrement importante. Cette thèse propose ainsi de découvrir, à l'échelle des aires urbaines, les différentes formes d'étalement urbain visibles à la Réunion et s'interrogeant sur d'éventuelles similarités avec des territoires non limités par le relief. En effet, une question est posée : le milieu insulaire favorise-t-il des formes d'étalement spécifiques ? De même, la relation entre transport et étalement urbain est mise en exergue à travers les exemples des trois principales aires urbaines de l'Île : Saint-Denis, Saint-Paul- Le Port et Saint-Pierre. A partir de leur évolution depuis 1990 nous proposons quelques scénarios d'évolution qui permettent d'alerter sur la nécessité d'une approche transport-urbanisme dans les futurs projets d'aménagement de l'Île de La Réunion.

**Mots clés :** forme urbaine, étalement urbain, densité, transport, accessibilité, milieu insulaire, monocentrisme, polycentrisme

## ***Urban form and transport interaction: example of Reunion Island***

---

Urban sprawl and transport are two dominating problems in Reunion Island. In a context of strong population growth where the demographic million is planned for 2030, the question of the land use becomes essential. The relief of the island is so difficult, that almost two-thirds of the island are unavailable to urbanization. Thus, the urban sprawl question is becoming increasingly important. At the same time, the road network of Reunion Island is also limited by the relief and already saturated. The transportation problem occupies an important place in the development concerns, like the Route du Littoral. This interaction between transport and planning is particularly important. This thesis proposes to discover, on the scale of urban areas, various forms of urban sprawl visible in Reunion, and questions on possible similarities with territories not limited by relief. Indeed, a question is raised: do the island environment favors specific forms of urban sprawl? Similarly, the relationship between transport and urban sprawl is highlighted through examples of the three main urban areas of the island: Saint-Denis, Saint-Paul- Le Port and Saint-Pierre. From their evolution since 1990, we offer a few evolution scenarios that allow to alert the need for a transportation-planning in future development projects on the island of Reunion Island.

**Keywords:** urban form, urban sprawl, density, transport, accessibility, insular environment, monocentrism, polycentrism

---

Cette thèse a été réalisée au laboratoire **PIMENT (Physiques et Ingénierie Mathématique pour l'Énergie et l'environnement)**, à l'**Université de La Réunion**

Financée par la **Région Réunion**, et soutenue par le **Département SBE (Sciences du Bâtiment et de l'Environnement)** de l'**UFR SHE (Sciences de l'Homme et de l'Environnement)**

