



**HAL**  
open science

**Information géographique et simulation prospective :  
Changements d'occupation du sol en Martinique  
(1994-2025) - Proposition méthodologique**

J.P. Chery

► **To cite this version:**

J.P. Chery. Information géographique et simulation prospective : Changements d'occupation du sol en Martinique (1994-2025) - Proposition méthodologique. [Rapport Technique] irstea. 2011, pp.121. hal-02594681

**HAL Id: hal-02594681**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02594681>**

Submitted on 15 May 2020

**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.

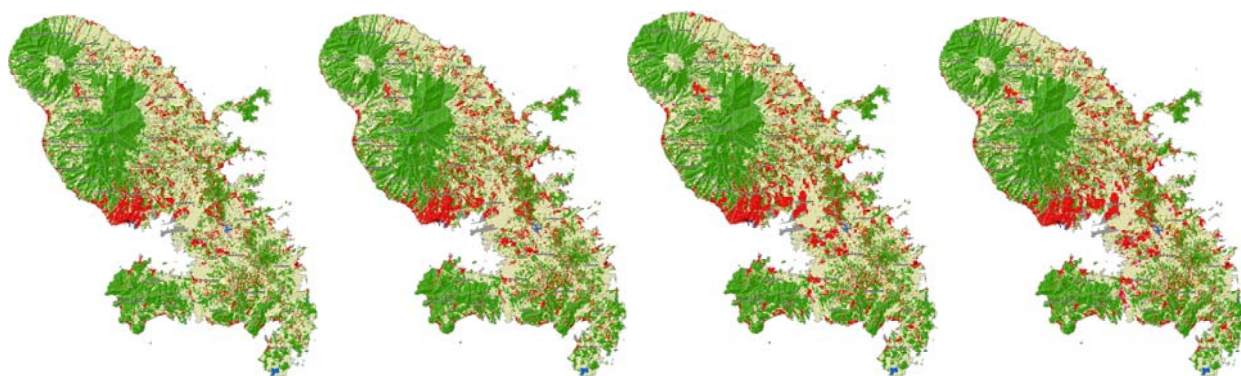
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Information géographique  
et simulation prospective :**

**Changements d'occupation du sol  
en Martinique**

**(1994-2025)**

**Proposition méthodologique**



**Jean-Pierre Chéry**  
UMR TETIS, AgroParisTech

**Février 2011**

Rapport établi sur la base d'un exercice pédagogique de Master 1<sup>ère</sup> année « Système d'Information Géographique, Gestion et Gouvernance des Territoires », Montpellier

Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement  
Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts  
Unité Mixte de Recherche Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale  
Montpellier



*Sa ki ta'w, la riviè pa ka chayé'y*  
*(Proverbe créole martiniquais)*

*Ce qui t'est destiné ne sera pas emporté par la rivière*



## Remerciements

Je tiens à remercier, pour leurs contributions à la réalisation de l'exercice pédagogique à la base de ce rapport et pour leur intérêt pour les perspectives envisageables,

- l'Agence d'Urbanisme et d'Aménagement de la Martinique (ADUAM), et particulièrement sa Directrice, Mme Joëlle Taïlamé, et sa responsable du Pôle SIG et Cartographie, Mme Cenia Borrero, pour la mise à disposition de données géographiques des règlements d'urbanisme des communes de la Martinique ;
- la Direction Départementale de l'Équipement de la Martinique (DDE 972), avec Mr Jean Doucet, chargé de l'Évaluation des politiques publiques d'aménagement au sein du Service Prospective, Observatoire et Territoires de la DDE, également responsable de l'Action « Urbanisation » du projet CaribSat, pour la mise à disposition des données géographiques des Plans de Prévention des Risques de la Martinique ;
- l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), avec Mr Marc Morell, Directeur du Centre IRD Martinique-Caraïbe et responsable du Programme Interreg Caraïbes CARIBSAT, qui a reçu positivement la position de recherche présentée au travers de ce travail et a permis des contacts rapides avec la DDE, concernant l'action du programme portant sur l'Urbanisation ;
- la mairie du Lamentin, pour la mise à disposition de données géographiques concernant son Plan local d'Urbanisme, suite à l'action compréhensive de Mme Doris Joseph, Responsable du service Environnement et cadre de vie du Lamentin, après notre rencontre impromptue à Chamonix lors de la conférence française pour la biodiversité, et de Mme Eveline Etienne, Chef de service Adjoint Service Urbanisme et Aménagement du Lamentin ;
- la mairie du Marin, pour la mise à disposition de la carte du Plan Local d'Urbanisme de la commune, grâce au contact efficace de Mr Morgan Loton, professeur d'histoire et géographie, qui est l'un des auteurs d'un site très intéressant, en liaison avec l'Inspection académique de Martinique, portant sur le site de la baie du Marin et de ses enjeux d'aménagement et d'environnement ;
- Sylvain Labbé, du Cemagref de Montpellier et collègue au sein de l'UMR TETIS, qui a mis à ma disposition différents matériaux (bibliographie, données) portant sur la Martinique ;
- Gérard Lainé, du Cirad de Montpellier et également collègue au sein de l'UMR TETIS, qui a permis les contacts initiaux rapides avec l'ADUAM et assurer ainsi un gain de temps crucial pour un travail sur un territoire insulaire qu'il connaît bien.

Je remercie également le groupe des cinq étudiants de master 1 de la spécialité de master « Systèmes d'Information et Informations Géographiques pour la Gestion et la Gouvernance des Territoires » (SIIG3T), Armand Aupetit, Arnaud Jean-Charles, Delphine Parent, Virginie Planté et Julian Quiniou, pour leur travail d'équipe. L'encadrement régulier de leur mini-projet m'a permis de renouveler et faire progresser mon expérience de modélisation.



## Résumé

Le rapport développe les différentes phases importantes pour la modélisation du territoire de la Martinique, afin de produire des simulations spatiales de changement de l'occupation du sol pour la période 2000-2025. Etabli sur la base d'un travail pédagogique, il présente d'abord l'importance et les enjeux de l'évolution démographique de la Martinique qui soulignent la difficulté d'appréhender le processus d'étalement urbain dans ce type de territoire insulaire. Le territoire de la Martinique est abordé alors comme un système complexe. Une méthode de modélisation spatiale est appliquée : la simulation par automate cellulaire, avec le logiciel Spacelle. Un modèle déjà appliqué sur une région littorale métropolitaine (le Bassin de Thau) est utilisé pour représenter la situation de la Martinique : l'occupation du sol (décrite par une nomenclature qui différencie en détail les espaces urbanisés, agricoles et naturels), les contraintes majeures à l'urbanisation (abordées par la topographie, les plans d'urbanisme et les plans de prévention des risques) ainsi que l'infrastructure routière principale qui définit une variabilité des accessibilités des lieux de l'île, sont structurés avec une base de règles de transition qui définissent les potentiels de changement. Les calculs des simulations fournissent des données d'occupation du sol à différentes dates jusqu'à l'horizon 2025. Deux scénarios simples ont été établis afin de créer des différences de situation possibles à cette date. Les résultats sont cartographiés et analysés : la modélisation, malgré des points à améliorer, est satisfaisante d'un point de vue méthodologique et permet d'envisager des développements plus importants dans une démarche de prospective territoriale qui mobilise l'information géographique exploratoire.





# Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>5</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>7</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>10</b>
<b>Avant-propos .....</b>	<b>11</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>Première partie Etalement urbain en Martinique : des enjeux pour le proche avenir .....</b>	<b>15</b>
<b>1 La population et sa densité : les facteurs d'évolution.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 La démographie : la clé de voute de la prospective .....</b>	<b>17</b>
1.1.1 Rappel de l'évolution démographique en Martinique .....	17
1.1.2 Eléments de prospective démographique pour la Martinique .....	19
<b>1.2 Densification et desserrement urbain.....</b>	<b>22</b>
1.2.1 Le logement et ses caractéristiques générales .....	22
<b>1.3 L'étalement urbain .....</b>	<b>25</b>
<b>2 L'espace insulaire martiniquais : éléments de contraintes</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Analyse spatiale de la tache urbaine .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Des aptitudes variées du territoire martiniquais face à l'étalement urbain .....</b>	<b>30</b>
<b>3 Comprendre le système territorial martiniquais pour mesurer ses enjeux liés à l'étalement urbain .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Complexité spatiale et temporelle de l'étalement urbain.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Concilier méthode de simulation spatiale et démarche prospective.....</b>	<b>33</b>
<b>Deuxième partie Information géographique et automate cellulaire : une méthode de simulation prospective.....</b>	<b>35</b>
<b>4 Présentation de la modélisation par automate cellulaire... 37</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Définition de l'automate cellulaire.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Un système de cellules.....	37
4.1.2 le voisinage.....	38
4.1.3 l'état cellulaire et les règles de transition .....	38
<b>4.2 Le logiciel Spacelle, plate-forme de modélisation par automate cellulaire.....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Caractéristiques générales de Spacelle .....	39
4.2.2 Le comportement cellulaire.....	40
4.2.3 Le pas de temps et la résolution spatiale .....	41
4.2.4 Les résultats possibles .....	42

<b>5</b>	<b><i>Le modèle d'évolution de l'occupation du sol de la Martinique</i></b> .....	<b>42</b>
5.1	<b>Les couches cellulaires : définition des états</b> .....	<b>42</b>
5.1.1	La couche d'occupation du sol .....	43
5.1.2	Les couches du réseau routier principal et des échangeurs .....	47
5.1.3	La couche des contraintes .....	50
5.2	<b>Les règles de transition</b> .....	<b>55</b>
5.3	<b>Le modèle de base et sa validation</b> .....	<b>56</b>
5.3.1	Le modèle de base .....	56
5.3.2	Pour valider le modèle de base : comparer le simulé et l'observé en l'an 2000	58
	<b><i>Troisième partie Résultats cartographiques : intérêt de spatialiser les possibles</i></b> .....	<b>61</b>
<b>6</b>	<b><i>Des scénarios pour comprendre les gradients d'évolution.</i></b>	<b>63</b>
6.1	<b>Des scénarios de contraste de l'accessibilité</b> .....	<b>63</b>
6.2	<b>Les cartes des résultats des simulations</b> .....	<b>64</b>
<b>7</b>	<b><i>interprétation des résultats des simulations</i></b> .....	<b>68</b>
7.1	<b>Interprétation par comparaison temporelle : l'évolution comme trajectoire</b> .....	<b>68</b>
7.1.1	Les changements d'occupation du sol entre 2000 et 2025, sans évolution du réseau routier .....	68
7.1.2	Interprétation par comparaison des scénarios : quels changements avec l'évolution du réseau routier ?.....	74
7.2	<b>Cartographie de la comparaison des résultats des simulations pour 2025</b> .....	<b>76</b>
7.3	<b>Le cas des centres commerciaux : problème de simulation</b> ..	<b>78</b>
<b>8</b>	<b><i>Des pistes pour enrichir l'analyse de l'évolution spatiale de l'urbanisation en Martinique</i></b> .....	<b>79</b>
8.1	<b>Simuler à partir de bonnes informations</b> .....	<b>79</b>
8.2	<b>Simuler : plusieurs méthodes possibles</b> .....	<b>82</b>
8.3	<b>Simuler en prospective : voir... pour prévoir</b> .....	<b>83</b>
	<b><i>Conclusion</i></b> .....	<b>85</b>
	<b><i>Bibliographie</i></b> .....	<b>87</b>
	<b><i>Annexes</i></b> .....	<b>91</b>
	<b><i>Annexe 1 Sujet du mini-projet tutoré proposé (02/2010) - M1 SIIG3T</i></b> .....	<b>93</b>
	<b><i>Annexe 2 Liste des fonctions disponibles dans SpaCelle et syntaxe des règles</i></b> .....	<b>95</b>
	<b><i>Annexe 3 Les règles de transition du modèle Spacelle</i></b> .....	<b>96</b>
	<b><i>Annexe 4 Cartes thématiques d'analyse et résultats du modèle</i></b> .....	<b>99</b>

# Liste des figures

FIGURE 1 : NOMBRE D'HABITANTS DE LA MARTINIQUE D'APRES LES RECENSEMENTS GENERAUX DE LA POPULATION, ENTRE 1954 ET 2010 (SOURCE : INSEE, 2010) .....	17
FIGURE 2 : EVOLUTION DU TAUX DE VARIATION NATURELLE DE LA POPULATION DE LA MARTINIQUE ENTRE 1965 ET 2003 (SOURCE : INSEE, 2007) .....	18
FIGURE 3 : EVOLUTION DU TAUX DE VARIATION ANNUEL MOYEN DE LA POPULATION DE LA MARTINIQUE DUE AU SOLDE MIGRATOIRE APPARENT ENTRE 1974 ET 2006 (SOURCE : INSEE, 2010) .....	18
FIGURE 4 : EVOLUTION DES COURBES DE POPULATION DE LA MARTINIQUE ENTRE 2005 ET 2030 SELON LES TROIS SCENARIOS DE PROJECTION DEMOGRAPHIQUE DE L'INSEE (SOURCE : INSEE, 2008) .....	19
FIGURE 5 : PYRAMIDE DES AGES MARTINIQUE : SCENARIO STANDARD (SOURCE : INSEE, 2008) .	20
FIGURE 6 : EVOLUTION DES COURBES DE POPULATION DES DIFFERENTS ETATS ET TERRITOIRES DES PETITES ANTILLES ENTRE 1950 ET 2050 SELON LES QUATRE SCENARIOS DE PROJECTION DEMOGRAPHIQUE DE L'ONU (SOURCE : ONU, 2004) .....	21
FIGURE 7 : EVOLUTION DES COURBES DE POPULATION DES DIFFERENTS ETATS ET TERRITOIRES DES PETITES ANTILLES ENTRE 1950 ET 2300 (SOURCE : ONU, 2004) .....	22
FIGURE 8 : EVOLUTION DU PARC DE LOGEMENT, DU NOMBRE DE MENAGES ET DE LA POPULATION AUX DIFFERENTS RECENSEMENTS (SOURCE : INSEE, RGP, IN IEDOM, 2010) .....	23
FIGURE 9 : EVOLUTION DU NOMBRE DE RESIDENCES PRINCIPALES SELON LA PERIODE DE CONSTRUCTION, PAR COMMUNE (SOURCE : INSEE, 2010) .....	24
FIGURE 10 : EVOLUTION DE LA TACHE URBAINE EN MARTINIQUE, ENTRE 1955 ET 2000 (SOURCE : IGN) .....	27
FIGURE 11 : EVOLUTION DU NOMBRE D'ILOTS DE LA TACHE URBAINE ET DE LA SURFACE TOTALE URBANISEE EN MARTINIQUE, ENTRE 1955 ET 2000 .....	28
FIGURE 12 : EVOLUTION DES ILOTS DE TACHES URBANISEES EN MARTINIQUE, DE 1955 A 2000 ...	29
FIGURE 13 : TYPES DE VOISINAGES COURANTS (IN DUBOS-PAILLARD, LANGLOIS, 2005, P. 2) ....	38
FIGURE 14 : LISTE DES ETATS D'OCCUPATION DU SOL .....	43
FIGURE 15 : OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE, ETAT EN 1994 .....	45
FIGURE 16 : OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE, ETAT EN 2000 .....	46
FIGURE 17 : RAPPORT ENTRE LES SURFACES BATIES EN 1994 ET 2000 ET LA DISTANCE AU RESEAU ROUTIER PRINCIPAL .....	48
FIGURE 18 : RESEAU ROUTIER PRINCIPAL DE LA MARTINIQUE EN 2000 .....	49
FIGURE 19 : REPARTITION DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL SELON DIFFERENTES CLASSES DE PENTE - LA CLASSE INFERIEURE A 15% EST EN BLANC (SOURCE : SIIG3T, 2010) .....	50
FIGURE 20 : DATE DES DERNIERES ADOPTIONS OU REVISIONS DES DOCUMENTS D'URBANISME COMMUNAUX (POS ET PLU), JUSQU'A FIN 2009 (SOURCE : ADUAM, 2010) .....	52
FIGURE 21 : PROCEDURE DE PRODUCTION DE LA COUCHE DES CONTRAINTES .....	53
FIGURE 22 : CONTRAINTES ISSUES DE L'ENSEMBLE DES ZONAGES DE PENTES, PPR ET POS ET PLU E LA MARTINIQUE .....	54
FIGURE 23 : LES RELATIONS ENTRE ETATS D'OCCUPATION DU SOL DEFINIS PAR LES 18 REGLES DE TRANSITION DANS LE MODELE DE LA MARTINIQUE, SOUS SPACELLE .....	56
FIGURE 24 : LES QUATRE COUCHES INTEGREES DANS SPACELLE, DEFINISSANT 17 ETATS DIFFERENTS .....	57
FIGURE 25 : LA BASE DE REGLES DE SPACELLE POUR LE MODELE DE LA MARTINIQUE .....	58
FIGURE 26 : LA DIFFERENCE ENTRE LES DEUX SCENARIOS POUR LES ETATS « AUTOROUTE » ET « ECHANGEUR » A PARTIR DE 2015 .....	64
FIGURE 27 : OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE, SIMULATION POUR 2010 .....	65
FIGURE 28 : OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE, SIMULATION POUR 2025, SANS EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	66
FIGURE 29 : OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE, SIMULATION POUR 2025, AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	67

FIGURE 30 : CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE - HABITAT INDIVIDUEL ET ZONES D'ACTIVITES, SIMULATION 2000-2025, SANS EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER.....	69
FIGURE 31 : CHANGEMENTS DE SURFACE DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL (EN HECTARES) ENTRE 2000 ET 2025, SANS EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER.....	70
FIGURE 32 : CHANGEMENTS DE SURFACE DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL (EN HECTARES) ENTRE 2000 ET 2025, AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	74
FIGURE 33 : CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL EN MARTINIQUE - HABITAT INDIVIDUEL ET ZONES D'ACTIVITES, SIMULATION 2000-2025, AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	75
FIGURE 34 : COMPARAISON DES RESULTATS DES 2 SCENARIOS DE SIMULATION POUR 2025 .....	77
FIGURE 35 : OCCUPATION DU SOL EN 2006 ET CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL ENTRE 2000 ET 2006 EN MARTINIQUE, D'APRES CORINE LANDCOVER.....	80
FIGURE 36 : LES COMMUNES ET LES TROIS INTERCOMMUNALITES DE LA MARTINIQUE .....	100
FIGURE 37 : RELIEF DE LA MARTINIQUE.....	101
FIGURE 38 : CLASSES DE PENTES, MARTINIQUE .....	102
FIGURE 39 : TYPES DE FORMES TOPOGRAPHIQUES DE LA MARTINIQUE .....	103
FIGURE 40 : VISIBILITE DE LA MER DEPUIS LE RELIEF DE LA MARTINIQUE .....	104
FIGURE 41 : VISIBILITE DE LA MER DEPUIS LE RELIEF DE LA MARTINIQUE .....	105
FIGURE 42 : ZONAGE REGLEMENTAIRE DES PLANS DE PREVENTIONS DES RISQUES APPROUVEES EN 2004, DANS LES COMMUNES DE LA MARTINIQUE (SOURCE : DDE 972) .....	106
FIGURE 43 : ASSEMBLAGE DES ZONAGES DES POS ET PLU EN VIGUEUR DANS LES COMMUNES DE LA MARTINIQUE, EN 2010 (SOURCE : ADUAM) .....	107
FIGURE 44 : ZONAGE DES CONTRAINTES DUES AUX PENTES .....	108
FIGURE 45 : ZONAGE DES CONTRAINTES DUES AUX PLAN DE PREVENTION DES RISQUES (SOURCE : DDE 972, 2010) .....	109
FIGURE 46 : CONTRAINTES DUES AUX ZONAGES DES POS ET PLU (SOURCE : ADUAM, 2010)..	110
FIGURE 47 : MATRICE DE TRANSITION DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1994 ET 2000 .	111
FIGURE 48 : MATRICE DE TRANSITION DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL ENTRE 2000 ET 2025 (SCENARIO 1 : SANS EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER) .....	112
FIGURE 49 : MATRICE DE TRANSITION DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL ENTRE 2000 ET 2025 (SCENARIO 2 : AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER) .....	113
FIGURE 50 : MATRICE DES DIFFERENCES DES SURFACES SIMULEES EN 2025 POUR LES TYPES D'OCCUPATION DU SOL DES SCENARIOS 1 ET 2.....	114
FIGURE 51 : CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL SUR LA BAIE DU MARIN - HABITAT INDIVIDUEL ET ZONES D'ACTIVITES, SIMULATION 2000-2025, AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	115
FIGURE 52 : CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL SUR LA COMMUNE DU LAMENTIN - HABITAT INDIVIDUEL ET ZONES D'ACTIVITES, SIMULATION 2000-2025, AVEC EVOLUTION DU RESEAU ROUTIER .....	116
FIGURE 53 : LES ESPACES DISPONIBLES A L'URBANISATION A PARTIR DE 2000, SELON LEUR DISTANCE AUX FRANGES URBAINES EXISTANTE A CETTE DATE .....	117
FIGURE 54 : LES ESPACES DISPONIBLES A L'URBANISATION A PARTIR DE 2000, SELON LEUR DISTANCE AU RESEAU ROUTIER PRINCIPAL EXISTANT A CETTE DATE .....	118
FIGURE 55 : TYPES DE POTENTIELS D'EXTENSION DU BATI DANS LES ESPACES DISPONIBLES, SELON LES CRITERES DES DISTANCES AU BATI EN 2000 ET AU RESEAU ROUTIER PRINCIPAL .....	119
FIGURE 56 : L'OCCUPATION DU SOL EN 2006, SELON LA BASE CORINE LANDCOVER DISPONIBLE DEPUIS DEBUT 2011, POUR LA GUADELOUPE, LA MARTINIQUE, LA GUYANE ET LA REUNION ..	120

## Liste des annexes

ANNEXE 1 SUJET DU MINI-PROJET TUTEORE PROPOSE (02/2010) - M1 SIIG3T .....	93
ANNEXE 2 LISTE DES FONCTIONS DISPONIBLES DANS SPACELLE ET SYNTAXE DES REGLES .....	95
ANNEXE 3 LES REGLES DE TRANSITION DU MODELE SPACELLE .....	96
ANNEXE 4 CARTES THEMATIQUES D'ANALYSE ET RESULTATS DU MODELE .....	99

# Avant-propos

Ce rapport est établi sur la base d'un travail d'un groupe d'étudiants<sup>1</sup> de 1<sup>ère</sup> année de la Spécialité de Master « *Systèmes d'Information et Informations Géographiques pour la Gestion et la Gouvernance des Territoires* », formation en partenariat entre les Universités Montpellier 2 et Montpellier 3 et AgroParisTech, à Montpellier.

L'exercice proposé aux étudiants (Annexe 1) dans le cadre d'un mini-projet tutoré de quatre mois (de février à mai 2010) a porté sur la mobilisation et l'exploitation de données géographiques numériques pour alimenter un modèle de simulation de l'évolution de l'occupation des sols en Martinique, afin de proposer une cartographie prospective. Ce type de produit intéresse les structures publiques et privées des domaines de l'aménagement du territoire et du développement régional. La thématique concernée et les méthodologies employées constituent un vaste sujet de recherche qui mobilise des communautés de géographes et géomaticiens.

Le rapport s'appuie sur la démarche suivie lors de l'encadrement du mini-projet tutoré et sur des expériences antérieures ou en cours que nous menons, concernant la modélisation et la simulation de l'évolution de l'occupation du sol, en particulier concernant l'étalement urbain et la périurbanisation.

Ce rapport présente non pas l'aboutissement d'un travail, d'un projet méthodologique appliqué à la Martinique mais l'amorce d'une recherche possible, et l'essai de proposer des pistes d'investigation et d'apports variés que cette démarche peut apporter à d'autres recherches ou travaux. Ce rapport est donc une amorce pour échanger et faire progresser modestement une meilleure prise en compte de la modélisation comme démarche pertinente pour la gestion des territoires « à ménager ».

---

<sup>1</sup> Les étudiants sont : Armand AUPETIT, Arnaud JEAN-CHARLES, Delphine PARENT, Virginie PLANTE et Julian QUINIOU (Promotion M1 SIIG3T 2009-2010).



# Introduction

La consommation des terres agricoles et naturelles par l'urbanisation touchent de nombreux espaces, à des rythmes divers. Dans les espaces insulaires que constituent les petites Antilles, cette consommation apparaît un enjeu important : la relative exigüité de ces territoires, les pressions foncières liées à leurs évolutions démographiques, des modes d'habitat et une activité touristique très forte sont autant d'exemples d'éléments à prendre en considération pour évaluer la situation de l'urbanisation et son devenir.

Les vastes espaces continentaux ont pu habituer à l'idée que l'espace agricole peut s'adapter sans trop de problème à l'expansion urbaine : le front urbain avançant, l'espace agricole est repoussé un peu plus loin. C'est dans une certaine mesure une vision qui peut durer longtemps en milieu continental. En milieu insulaire de petite taille, le rivage est là pour marquer une limite à cette vision, dans une échelle de temps assez brève.

Les espaces agricoles à haute valeur agronomiques continentaux se localisent généralement dans des plaines qui accueillent – du fait, entre autres, de la proximité de ces ressources – les implantations urbaines majeures. La consommation des terres agricoles devient peu à peu un enjeu important : artificialiser des surfaces de sols riches d'un point de vue agronomique n'apparaît pas raisonnable du point de vue du développement durable<sup>2</sup>.

Dans son rapport de 2008 de bilan de mise en œuvre du Schéma d'Aménagement régional de la Martinique approuvé en 1998, l'Agence d'Urbanisme et d'Aménagement de la Martinique a étudié l'évolution de l'emprise urbaine entre 1994 et 2004 (ADUAM, 2008) : l'emprise urbaine est passée de 19.509 ha en 1994 à 26.416 ha en 2004. L'urbanisation a ainsi connu une croissance de 35% en 10 ans, avec 7.000 ha en plus. Ce phénomène a touché tous les types d'espaces : des espaces de protection forte (espaces naturels d'intérêt, espace littoral protégé) sous forme généralement d'un mitage « *ex nihilo* », d'autres espaces naturels avec la conquête des hauteurs des mornes du sud de l'île, et des espaces à vocation agricole où l'urbanisation a progressé généralement par étalement de voisinage depuis des zones déjà urbanisées, et ce sur l'ensemble de l'île. Cette urbanisation importante s'est déroulée pour partie dans les zones proposées à l'urbanisation dans le Schéma d'Aménagement Régional, et pour partie hors de ces espaces. Les espaces proposés à l'urbanisation constituaient près de 1930 ha, à côté des 20593 ha dévolus à l'urbanisation, dense ou non. En 2004, les 7000 ha gagnés par l'urbanisation montrent une distribution dans laquelle le zonage du SAR semble avoir peu d'effets : 4000 ha à l'intérieur des espaces d'urbanisation du SAR et 3000 ha à l'extérieur (ADUAM, 2008, p. 72).

Les enjeux d'évaluation des processus en cours se placent en particulier dans le cadre des procédures de planification et d'aménagement du territoire. Ces procédures sont elles-mêmes de plus en plus associées à des démarches participatives où les

---

<sup>2</sup> Une étude portant sur la consommation des terres agricoles par l'urbanisation en Languedoc-Roussillon a été réalisée au sein de l'UMR TETIS, en collaboration de l'UMR LISAH pour les aspects de qualité du potentiel agronomique des sols. Cette étude commanditée par la DRAF de cette région et achevée en février 2011, avance des propositions pour généraliser ce diagnostic de consommation à la France entière. Ce type de démarche s'accorde avec un des dispositifs établis par la loi du 27 juillet 2010 de modernisation de l'agriculture et de la pêche : l'article L112-1 modifié du code rural déclare que « *l'Observatoire de la consommation des espaces agricoles élabore des outils pertinents pour mesurer le changement de destination des espaces agricoles et homologue des indicateurs d'évolution* ».



différentes parties prenantes du territoire défendent leurs intérêts parfois contradictoires. Les méthodes qui relèvent d'une part des diagnostics et d'autre part de la prospective territoriale évoluent fortement. Celles qui relèvent de l'analyse spatiale et de la modélisation et de la simulation spatiale connaissent des évolutions fortes : elles sont attendues pour aider à la définition d'indicateurs de suivi du territoire, avec une meilleure prise en compte des propriétés spatiales de celui-ci et pour aider à concevoir les évolutions possibles du territoire.

Le territoire de la Martinique, considéré comme un système complexe, fait donc l'objet dans ce travail d'une investigation qui porte sur la réalisation d'un modèle de simulation de l'évolution de l'occupation du sol, en particulier en rapport à l'urbanisation, à l'horizon 2025. La proposition méthodologique s'intéresse d'abord à souligner l'importance des tendances motrices de l'évolution, en l'occurrence, celles qui relèvent de la démographie et qui produisent l'étalement urbain (partie I). Sur ce constat, et en rapport aux formes que prends cet étalement, la méthode de modélisation retenue – un automate cellulaire – est décrite brièvement et l'élaboration du modèle appliqué à la Martinique, sur la base d'un modèle préexistant établi sur un autre territoire, nécessite de constituer des types d'informations qui permettent ensuite la simulation par implémentation informatique dans le logiciel Spacelle (partie II). Les résultats des simulations, organisés sur la base de deux scénarios simples de variation de l'infrastructure routière principale, permettent d'une part d'évaluer l'adéquation de ce type de modélisation et de simulation à un territoire comme celui de la Martinique et soulignent d'autre part l'importance d'une bonne connaissance du territoire, ouvrant des perspectives de précision et d'amélioration (partie III).

**Première partie**  
**Etalement urbain en Martinique : des enjeux pour le proche avenir**

L'étalement urbain résulte de la relation entre la dynamique démographique et des modes d'habitats et d'usages liés aux équipements qui artificialisent les sols, de manière généralement définitive à l'échelle de plusieurs générations. Vouloir comprendre le devenir d'un territoire passe nécessairement par la prise en compte de la dynamique démographique, avec les caractéristiques du proche passé et les projections qui, généralement, portent sur deux ou trois décennies<sup>3</sup>, ou le demi-siècle. Dans le monde, les comportements démographiques sont très variés, tant du point de vue naturel que du point de vue migratoire. Des retournements de tendances peuvent s'effectuer très rapidement, d'une part par les changements de comportements associés à des considérations culturelles et socio-économiques d'une génération donnée, mais également par des délais en relation à la structure démographique, qui produisent à certains moments de forts changements que chaque individu, à son niveau, ne peut anticiper que très difficilement. Les démographes utilisent ainsi des outils et des représentations qui permettent de mieux envisager ces délais : pyramides des âges, taux de fécondité, taux de nuptialité, et les courbes temporelles produites par des modèles de simulation fournissent des informations essentielles pour l'avenir.

Par ailleurs, les modes d'habitats et d'usages artificialisés des sols permettent d'envisager les surfaces soumises directement à la dynamique démographique. Les besoins humains en logements, équipements divers de transport, d'activités de production, de services et de récréation se traduisent, selon les ressources et les technologies disponibles, en constructions et aménagements dont les dimensions et les localisations correspondent également à des choix d'individus ou de groupes sociaux et des contraintes environnementales, sociales et culturelles. Du point de vue du strict habitat, le nombre de logements est associé à la notion démographique de ménage : un ménage occupe un logement. Et généralement, la taille du ménage et la taille du logement tendent – dans l'idéal - à correspondre : un ménage d'une personne vit plutôt dans un logement de petite taille tandis qu'un ménage de plus de six personnes vit dans un grand logement. L'offre et la demande en logements indiquent la satisfaction ou non de ce rapport, toujours en déséquilibre du fait de l'évolution démographique, de la structure du parc de logements et des moyens économiques et environnementaux d'assurer une offre de logements adaptée et des stratégies de la propriété.

Ce travail ayant d'abord une portée pédagogique sur la dynamique spatiale des changements d'occupation du sol – et en particulier l'étalement urbain – en Martinique, cette partie vise seulement à souligner les éléments démographiques généraux qu'offre la littérature spécialisée ainsi qu'à donner quelques éléments associés aux modes d'habitat et d'artificialisation dans cette île de l'arc caraïbe. Ces éléments sont évidemment à ne pas négliger dans une démarche de prospective.

---

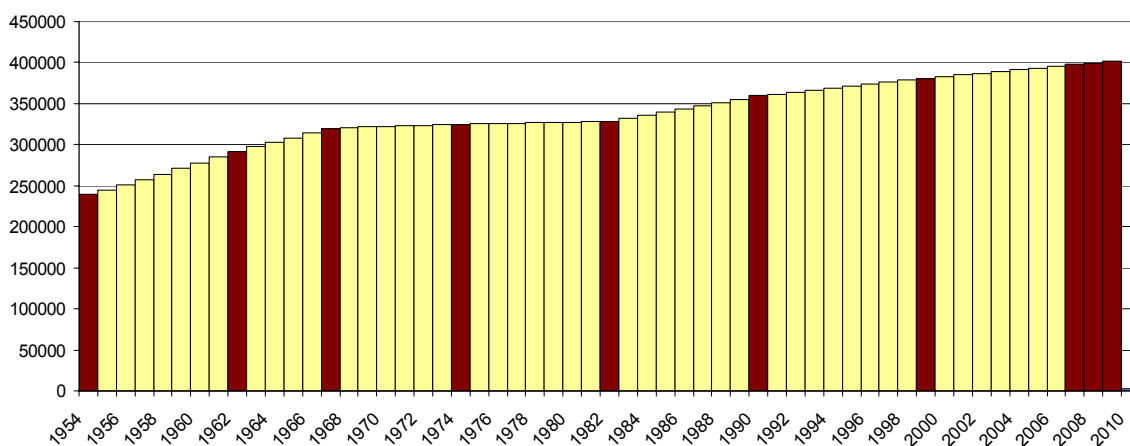
<sup>3</sup> Il existe des projections démographiques sur plusieurs centaines d'années : voir ONU, projections démographiques à l'horizon 2300.

# 1 La population et sa densité : les facteurs d'évolution

## 1.1 La démographie : la clé de voute de la prospective

### 1.1.1 Rappel de l'évolution démographique en Martinique

En un peu plus d'un demi-siècle, la Martinique a vu sa population résidente s'accroître de 162.870 personnes, passant de 239.130 habitants en 1954 à 402.000 habitants en 2009<sup>4</sup>, soit une augmentation de 68,1% en 55 ans (Figure 1). A titre de « comparaison », la France métropolitaine est passée de 42.885.138 à 62.469.432 habitants durant la même période, soit une augmentation de 45,6%. La Martinique a donc vécu une croissance démographique une fois et demie plus importante que l'Hexagone.



*Les dates des recensements exhaustifs ou partiels apparaissent en rouge foncé. Les valeurs intercensitaires sont des estimations par interpolation selon la croissance annuelle.*

Figure 1 : Nombre d'habitants de la Martinique d'après les recensements généraux de la population, entre 1954 et 2010 (source : INSEE, 2010).

Ce graphique permet de repérer trois périodes :

- de 1954 à 1967, la croissance est forte. En treize ans, la population s'accroît de 80.900 habitants (+2,27% par an) ;
- De 1967 à 1982, la croissance est faible. En quinze ans, la population s'accroît de seulement 8.536 habitants (+0,18% par an) ;
- De 1982 à 2009, la croissance redevient relativement forte. En vingt-sept ans, la population s'accroît de 73.434 habitants (+0,75% par an).

Ces variations d'évolution sur une période longue sont expliquées d'une part en considérant la variation naturelle de la population, entre les naissances et les décès, et d'autre part en prenant en compte la variation migratoire. Il s'avère que l'évolution naturelle est passée de +28,5 ‰ en 1965 à +6,4 ‰ en 2003 (Figure 2).

<sup>4</sup> Les données démographiques apparaissent très précises (dénombrement à l'individu près) quand il s'agit de données de recensements et sont arrondies à la dizaine, à la centaine ou au millier d'individus en situation d'estimation ou de projection sur un modèle prospectif.

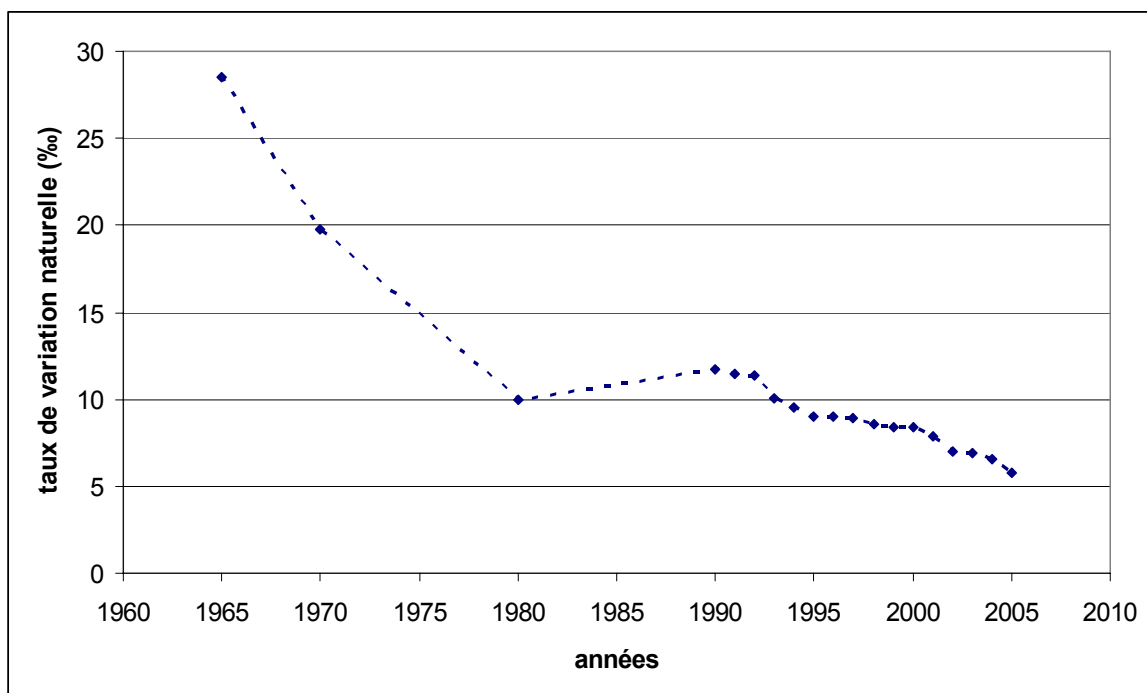


Figure 2 : Evolution du taux de variation naturelle de la population de la Martinique entre 1965 et 2003 (source : INSEE, 2007)

Par ailleurs, le « solde migratoire apparent », bilan entre la variation totale de la population et la variation naturelle, a enregistré des variations importantes (Figure 3), pour les quatre dernières périodes intercensitaires (de 1974 à 2006).

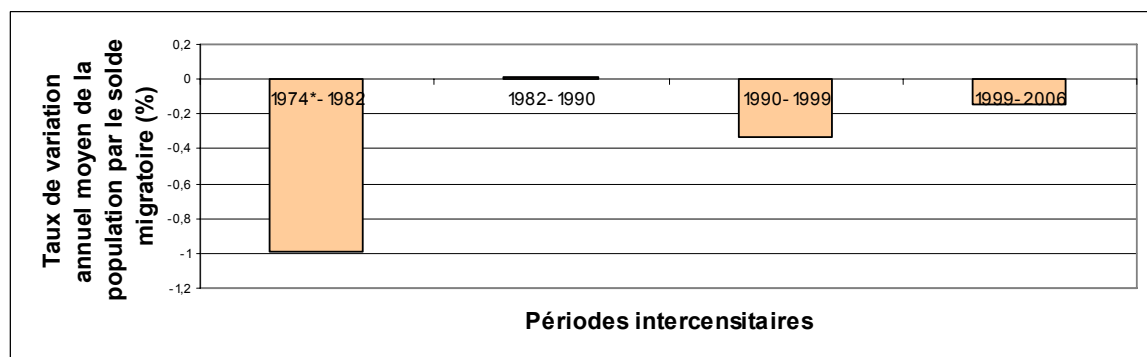


Figure 3 : Evolution du taux de variation annuel moyen de la population de la Martinique due au solde migratoire apparent entre 1974 et 2006 (source : INSEE, 2010)

Les flux migratoires apparaissent difficiles à rendre compte du fait des périodes intercensitaires longues durant lesquelles des bilans migratoires inverses peuvent exister selon des conjonctures variées, que les moyens de mobilités modernes (tel l'avion) peuvent amplifier<sup>5</sup>. Depuis le milieu des années 1960, un flux d'émigration majeur a touché la Martinique avec la politique d'accueil d'une population active jeune en France métropolitaine, encadrée par le BUMIDOM<sup>6</sup> (1963-1982). Par ailleurs,

<sup>5</sup> Un habitant de la Martinique peut, par exemple, partir travailler pendant 4 ou 5 années hors de cette île et revenir ensuite, sans que ce mouvement migratoire ait été mesuré par un recensement.

<sup>6</sup> « Bureau pour le développement des migrations dans les départements d'outre-mer », remplacé ensuite par l'« Agence nationale pour l'insertion et la promotion des travailleurs d'outre-mer » (ANT) jusqu'en 2010, date de la mise en place de l'« Agence de l'outre-mer pour la mobilité » (LADOM).

l'ouverture du marché touristique antillais dans les années 1970, soutenue par la révolution des transports aériens (aménagement de la piste de l'aéroport du Lamentin en 1974 pour accueillir les avions gros porteurs comme le Boeing 747), donne à la population métropolitaine un nouvel espace migratoire pour le tourisme et également pour une migration d'actifs de ce secteur touristique ou une migration de villégiature « au soleil des tropiques ». La génération des martiniquais qui ont quitté leur île natale dans les années 1960-1970 atteint peu à peu l'âge de la retraite depuis le début des années 2000. Ayant pu garder le contact régulier avec la Martinique, ces antillais retraités de l'Hexagone peuvent engager un mouvement de « retour au pays », préparé par l'achat ou la construction d'une résidence et modifier ainsi le bilan migratoire pour les années prochaines.

Cette structure démographique est ainsi variable dans le temps et exprime – en vis-à-vis des conditions économiques de l'île et de sa structure d'emploi – une complexité pour appréhender les tendances futures.

### 1.1.2 Éléments de prospective démographique pour la Martinique

Dans une étude générale de 2003, concernant les projections démographiques de la France entière et de ses régions, l'INSEE proposait pour la Martinique à l'horizon 2030, selon différents scénarios retenus, des valeurs entre 401.000 habitants (faible fécondité) et 455.000 habitants (INSEE, 2003). Une autre étude légèrement plus ancienne de l'INSEE, en 2001, signalait que « 410.000 habitants vivront en Martinique en 2030 ». On peut signaler que l'île a environ 410.000 habitants en 2010. Dans une étude plus récente, de janvier 2008, l'INSEE propose des valeurs un peu différentes, revues à la hausse justement : le scénario central retenu propose 427.000 habitants pour 2030, soit 17.000 de plus que la projection réalisée quelques années auparavant (Figure 4).

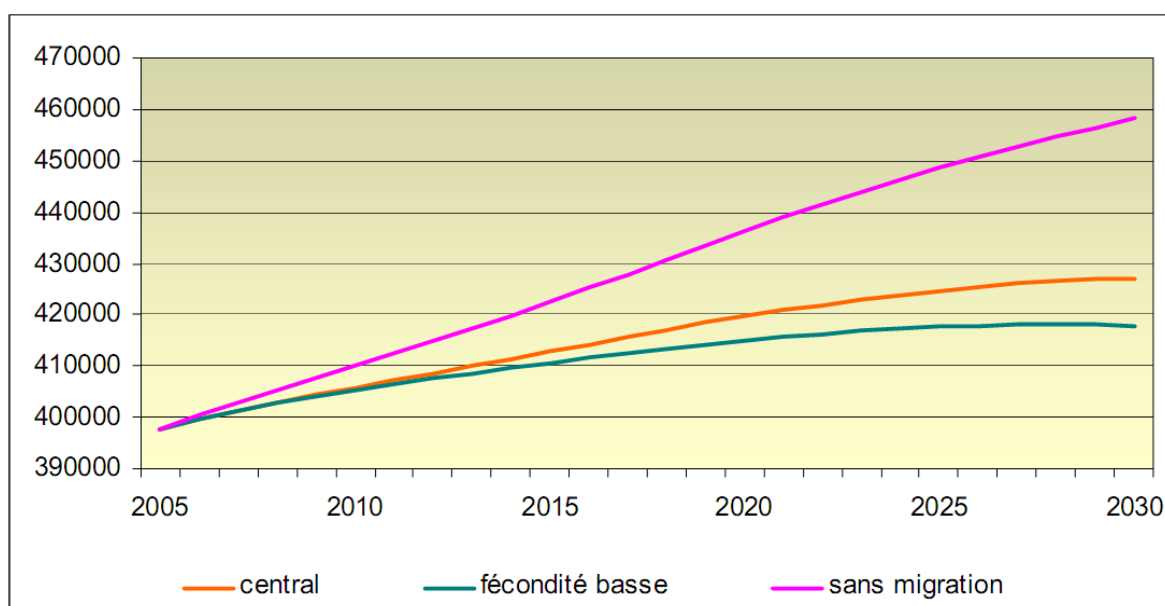


Figure 4 : Evolution des courbes de population de la Martinique entre 2005 et 2030 selon les trois scénarios de projection démographique de l'INSEE (source : INSEE, 2008)

Le scénario le plus haut reste à peu près stable : 458.000 habitants, tandis que le scénario le plus bas propose 418.000 habitants. Ce dernier correspond d'ailleurs à la simulation proposée par l'INED sur la base des données de l'ONU de 2009 : la Martinique serait peuplée de 417.600 personnes en 2030. Cette dernière simulation, portée à 2050, donne une population de 392.500 personnes, soit une diminution

notable dans les 20 dernières années (2030-2050) de plus de 25.000 personnes, et qui ramène la population à son niveau de 2005. C'est d'ailleurs l'année 2030 qui apparaît être celle du maximum démographique, dans ce scénario *a priori* bas, d'après la comparaison avec celui de l'INSEE.

L'évolution démographique marque la structure de la population, avec un vieillissement de celle-ci, comme l'indique le résultat du scénario standard de l'INSEE à l'horizon 2030 (Figure 5).

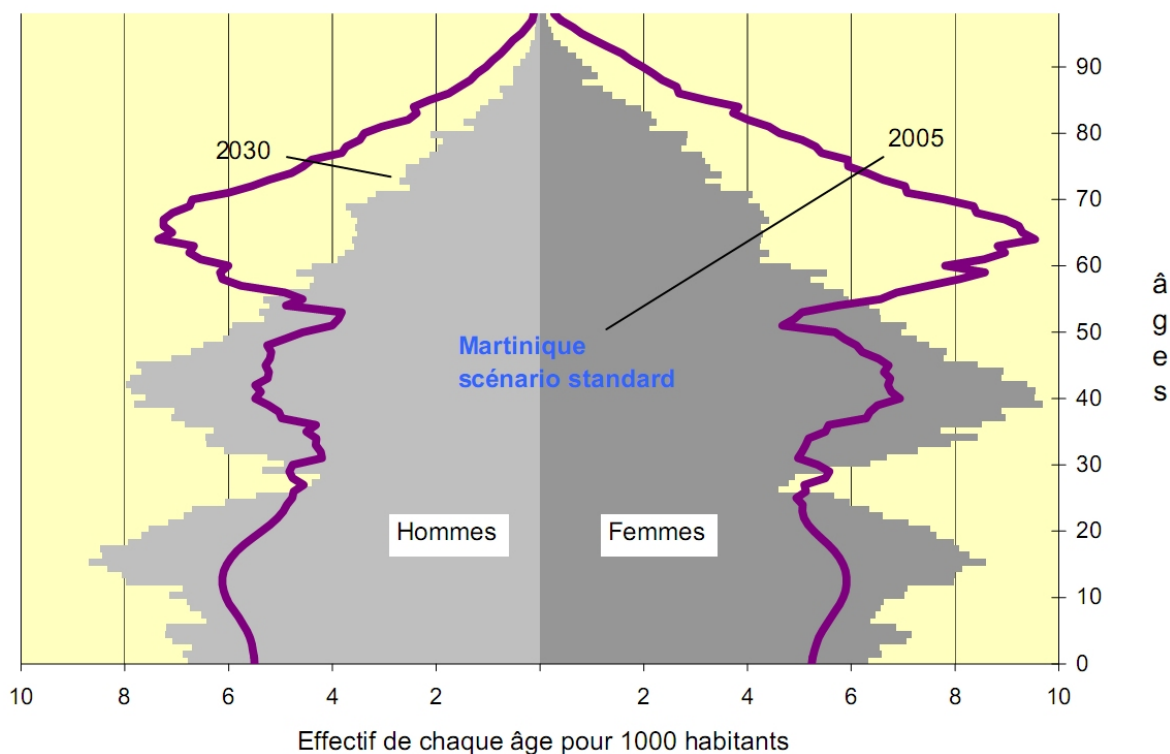


Figure 5 : Pyramide des âges Martinique : Scénario standard (source : INSEE, 2008)

Dans l'arc des petites Antilles, la perspective démographique des prochaines décennies replace la Martinique dans son environnement régional. On peut avancer que ces dynamiques respectives ne devraient pas avoir d'impact très fort sur les populations voisines : les migrations inter-îles étant faibles<sup>7</sup>, de fortes amplitudes démographiques d'une île ne se retrouveraient pas directement dans la dynamique démographique d'une île proche. Le scénario d'une catastrophe naturelle majeure de type volcanique ou sismique pourrait relativiser cette hypothèse, par le déplacement d'un grand nombre de personnes dans les îles voisines, du moins pour une brève période<sup>8</sup>.

La Figure 6 indique que la Martinique, après avoir été l'île la plus peuplée de l'arc central antillais, a cédé cette place au début des années 1980 à la Guadeloupe, et devrait garder la deuxième place pour toute la première moitié du XXIème siècle.

<sup>7</sup> Cette remarque est à nuancer malgré tout : un petit tiers des immigrés étrangers en Martinique viennent de Sainte-Lucie, l'île voisine du sud (source : INSEE, ACSE, 2006)

<sup>8</sup> On peut penser à l'île de Montserrat, territoire d'outre-mer du Royaume-Uni : l'éruption de la Soufrière en 1995 a détruit une partie importante de l'île. Les deux tiers des habitants ont quitté Montserrat pour le Royaume-Uni ou l'île proche d'Antigua (y revenant en partie depuis). Dans le cas malheureux similaire qui toucherait la Martinique, on peut estimer qu'une partie des habitants chercherait refuge en Guadeloupe et en Métropole.

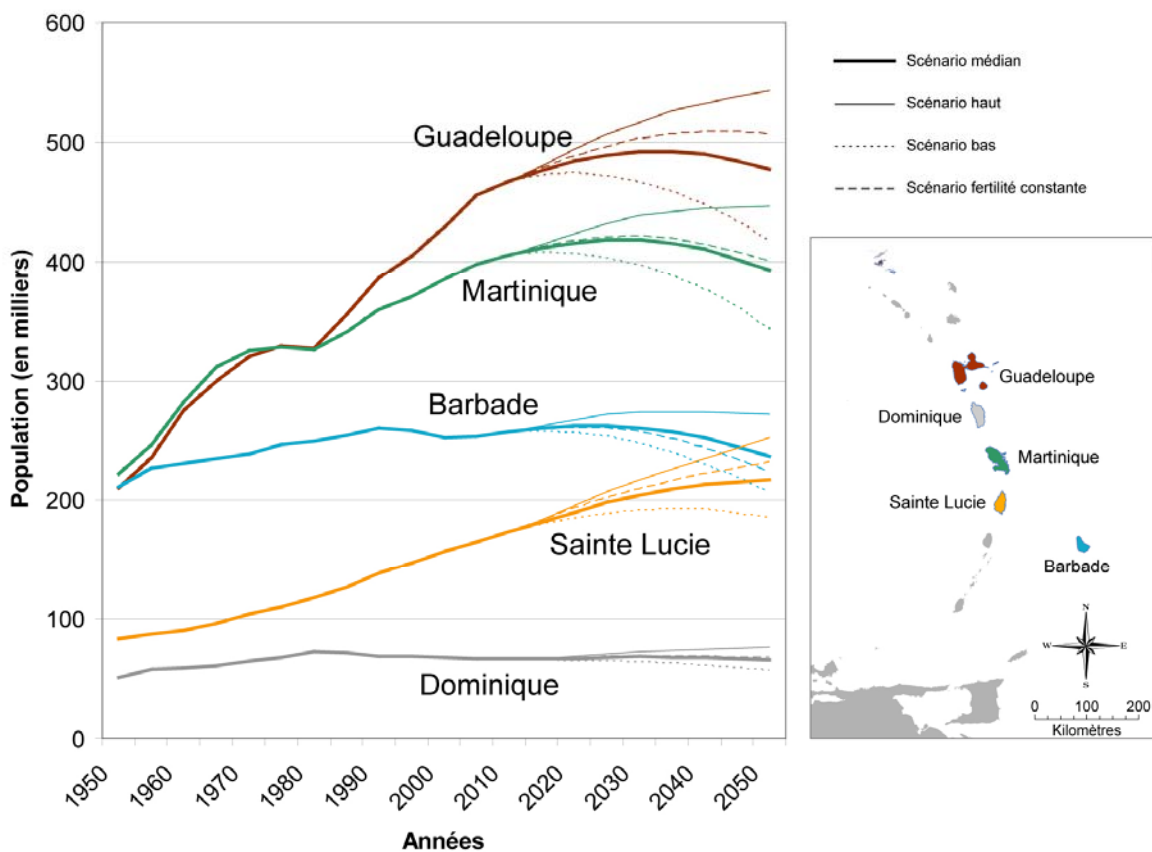


Figure 6 : Evolution des courbes de population des différents états et territoires des petites Antilles entre 1950 et 2050 selon les quatre scénarios de projection démographique de l'ONU (source : ONU, 2004)

Les scénarios indiquent l'inflexion autour des années 2030 pour un tassement ou une diminution de la population. Celle-ci atteindrait en 2050 entre 343.000 et 447.000 habitants. L'énorme différence entre les deux scénarios extrêmes souligne bien l'effet très important des migrations dans ces îles de petites tailles à forte densité, et à économie tendue. Avec 104.000 habitants de différence et en retenant 2,5 personnes en moyenne par ménage (valeur plausible pour 2010), c'est donc une différence de 41.600 ménages qui correspondent à autant de logements à fournir... ou non sur 40 ans. Les surfaces bâties correspondantes constituent un enjeu important d'aménagement et de prospective.

L'inflexion, ou le ralentissement, de la croissance démographique des îles de l'Arc antillais devrait être sensible durant toute la seconde moitié du XXIème siècle. Mais en projetant la « mécanique » démographique sur un horizon plus lointain, en 2300, un retour de la croissance démographique devrait s'opérer. Cependant, cette croissance serait plus lente (Figure 7).



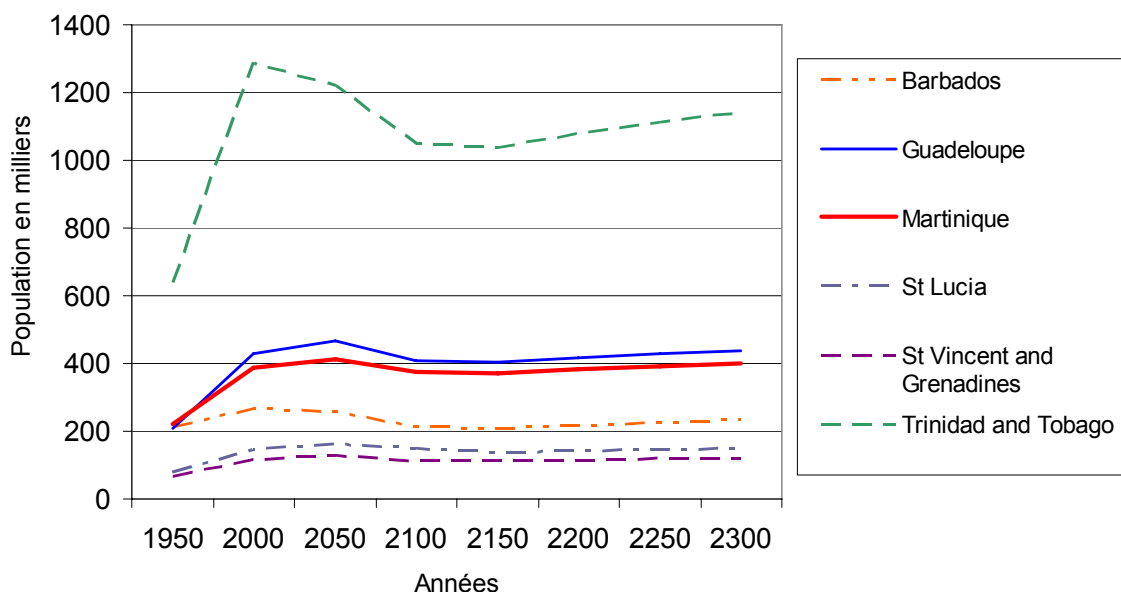


Figure 7 : Evolution des courbes de population des différents états et territoires des petites Antilles entre 1950 et 2300 (source : ONU, 2004)

L'aménagement du territoire ne s'appuie pas sur des projections si lointaines, mais on peut en revanche signaler qu'un parc de logements est généralement tributaire d'un héritage sur une très longue période. Si un pic démographique est à attendre autour des années 2030-2050 dans les petites Antilles, cela signifierait – mécaniquement – un pic de logements occupés à cette période, et une augmentation des logements vacants sur la dernière partie du XXIème siècle. L'évolution de l'habitat antillais, soumis à des contraintes et normes en lien aux risques naturels de la région et aux capacités économiques des ménages et des agents économiques du secteur de l'immobilier est un enjeu très fort, dont les répercussions spatiales au niveau local sont elles mêmes importantes dans ces espaces qui possèdent une faible réserve foncière en général.

## 1.2 Densification et desserrement urbain

### 1.2.1 Le logement et ses caractéristiques générales

Le besoin en logements correspond d'une part à l'augmentation de la population et d'autre part à l'évolution des usages résidentiels. Sur ce second point, la Martinique connaît le phénomène général de réduction de la taille des ménages et de la décohabitation. La monoparentalité marque également la structure des ménages et accentue les besoins en logements. Le décalage entre offre de logement et demande des ménages est un élément important à considérer : la figure suivante (Figure 8) présente les taux de croissance par périodes intercensitaires du parc de logements, du nombre de ménages et de la population. La population ayant connu un pic de croissance durant la période 1982-1989, les ménages ont également connu un pic de croissance à cette même période, avec un taux plus important, indiquant cette évolution vers des ménages de taille plus petite. L'évolution du parc de logements a connu en revanche son pic de croissance durant la période 1990-1998, indiquant un ajustement à la demande avec un décalage de quelques années.

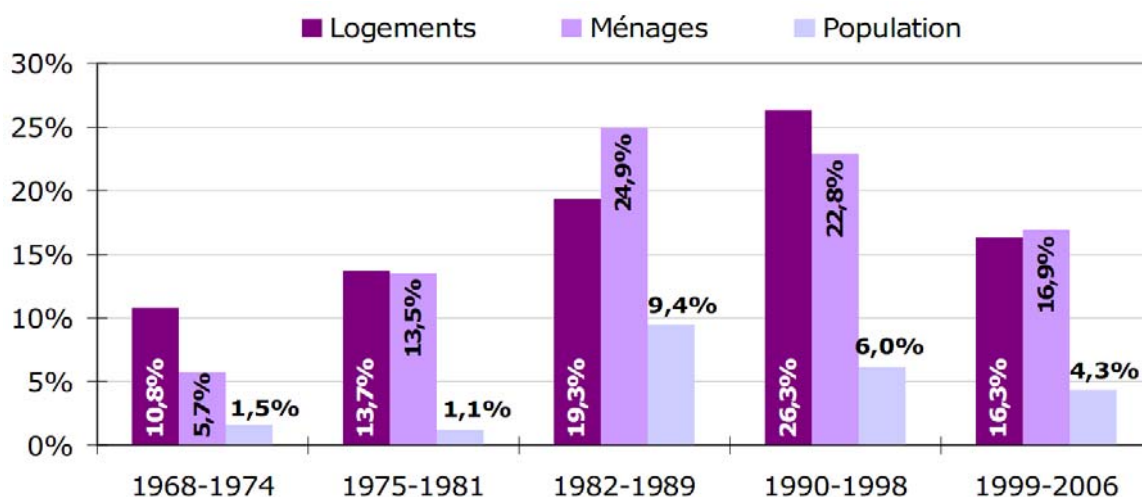


Figure 8 : Evolution du parc de logement, du nombre de ménages et de la population aux différents recensements (source : INSEE, RGP, in IEDOM, 2010)

En Martinique, les résidences principales correspondent à environ 84% du parc de logements. Les logements occupés par leurs propriétaires représentent environ 58%. Les maisons individuelles représentent les 2/3 du parc, avec une tendance au renforcement (de 63,2% en 1999 à 67,5% en 2005 ; source : INSEE 2006). Le nombre moyen de personnes par ménage est passé de 2,9 à 2,6 entre 1999 et 2005, se rapprochant du niveau rencontré dans l'Hexagone (2,3 personnes par ménage en 2005).

La part du logement collectif dans le total des logements autorisés à la construction fluctue : en 2002, ce taux était de 38% tandis qu'en 2005, il atteignait 65%. La moyenne de la dernière décennie se place autour de 48%. Ainsi, alors que le logement collectif représente environ 1/3 du parc, sa part dans la construction est de presque la moitié : la densification, réponse à la disponibilité de plus en plus faible du foncier sur l'île, s'observe ainsi de plus en plus.

Entre 1999 et 2007, le nombre des logements en résidence secondaires ou occasionnels et celui des logements vacants ont augmenté : les premiers sont passés de 6.146 à 7.600 unités tandis que les seconds sont passés de 18.743 à 21.857 unités. C'est donc plus de 4.500 logements en plus apparus durant cette période pour un usage hors résidence principale. Cela ne signifie pas que ces logements ont été construits durant cette période (des résidences principales devenant vacantes ou réaffectées à un usage de résidences secondaires), mais cela souligne les contraintes pour satisfaire par ailleurs la demande en logements, par des constructions nouvelles sur des terrains de plus en plus difficiles à trouver.

Ces phénomènes de densification et de desserrement urbains ne sont pas homogènes dans l'espace martiniquais. Les données de l'INSEE portant sur la description du parc selon l'âge de construction des logements permettent de localiser ces variations par commune (Figure 9). La carte signale que certaines communes, en particulier dans la partie sud de l'île, possèdent un parc en résidences principales très récent : le Diamant et Sainte-Luce dépassent 50% de logements en résidence principale apparus après 1990. La part de leurs logements anciens (avant 1949) est minime (moins de 3%), tandis que les communes du Nord, comme Macouba et Grand'Rivière, ont plus du quart de leurs résidences principales d'âge élevé, considérant par ailleurs que leur parc est petit.

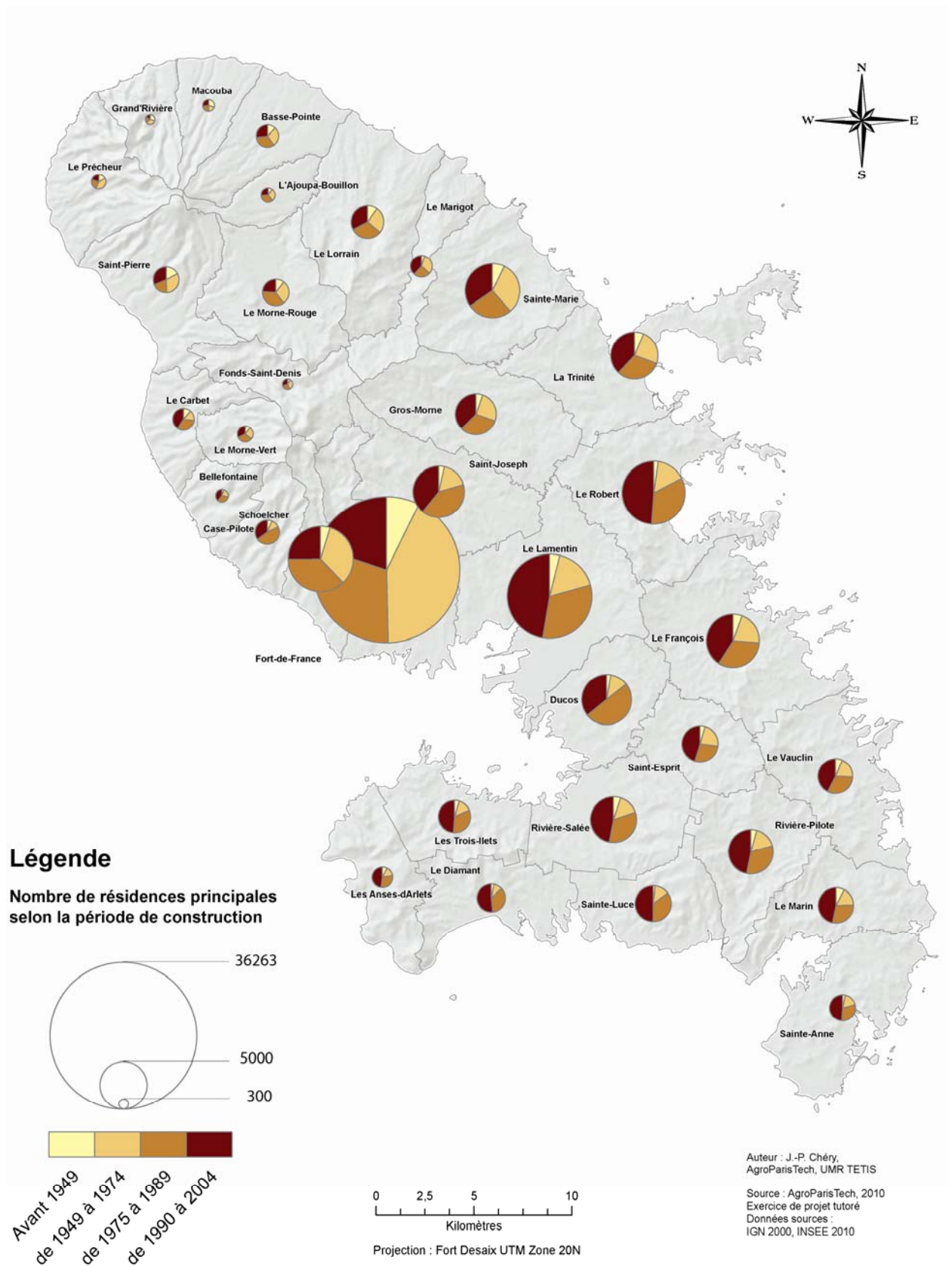


Figure 9 : Evolution du nombre de résidences principales selon la période de construction, par commune (source : INSEE, 2010)

La variation spatiale et temporelle de l'habitat indique un processus important de polarisation autour de Fort-de-France et de desserrement urbain vers le sud, l'espace foyalais étant de plus en plus saturé.

### 1.3 L'étalement urbain

Entre 1994 et 2004, la population martiniquaise est passée d'environ<sup>9</sup> 368.900 à 391.300 habitants. La densité générale de la population de la Martinique a ainsi augmenté, passant de 327 à 347 hab./km<sup>2</sup> (+6,1% en 10 ans).

Le calcul de la surface urbanisée disponible pour chaque habitant à ces deux dates donne 529 m<sup>2</sup> pour 1994 et 675 m<sup>2</sup> en 2004. La notion d'étalement urbain est ainsi illustrée : la croissance spatiale urbaine s'accompagne d'une augmentation des surfaces artificialisées (pour l'habitat et les activités) plus importante que l'augmentation de la population. Ces valeurs posent la question de l'avenir de l'urbanisation et des espaces agricoles et naturels de la Martinique, et plus généralement des petites Antilles qui connaissent sensiblement les mêmes tendances. A ce rythme constaté en une décennie, et si ce rythme demeure ou si sa tendance se renforce tendanciellement, à quelle date l'espace martiniquais urbanisable sera entièrement urbanisé ? Pour répondre à cette question, on peut être tenté de faire un simple et rapide calcul de projection démographique rapportée à l'étendue entière de l'île. Mais la question majeure de l'étalement urbain est celle de l'espace urbanisable : quelle surface est disponible ? Quelle surface est à affecter dans le futur à cet usage urbain irréversible ?

Les documents de planification d'aménagement du territoire comme les Schémas d'Aménagement Régionaux (SAR) permettent de fixer les objectifs et de constater entre deux dates la cohérence entre les choix d'aménagement et la réalité de l'utilisation des sols. Les bilans permettent ainsi de tirer des enseignements parfois très précis, et géographiquement bien localisés, de telle ou telle évolution désirée ou indésirable.

Pour l'élaboration de leur volet géographique, à savoir les représentations cartographiques et les calculs d'analyse spatiale qui permettent de quantifier certains phénomènes ou thématiques en lien avec l'occupation des sols et les accessibilités, ces documents mobilisent les méthodes et outils de la géomatique et, en particulier, les Systèmes d'information géographique (SIG). Ceux-ci apparaissent ainsi précieux pour tirer des bilans chiffrés et localisés des évolutions d'un territoire, et le document de bilan du SAR réalisé par l'ADUAM en est une illustration pour les aspects liés à l'urbanisation.

Nous renvoyons le lecteur au rapport de l'ADUAM, le « *Bilan de la mise en œuvre du schéma d'aménagement régional* » (2008) pour la présentation des détails localisés de l'emprise urbaine en Martinique jusqu'en 2004. Comme signalé en introduction, l'emprise urbaine est passée de 19.509 ha en 1994 à 26.416 ha en 2004, avec une croissance de 35% en 10 ans, soit 7.000 ha en plus. L'un des enseignements majeurs de ce bilan est le constat qu'une partie non négligeable des espaces prévus pour l'urbanisation n'est pas touchée par cette affectation, au dépend d'espaces plus fragiles. Ainsi, l'urbanisation dans les espaces de protection forte du SAR et du SMVM<sup>10</sup> est passée de 35 ha à 98 ha en 10 ans. Pour les autres espaces naturels, la progression est de 1.000 ha, avec la conquête de plus en plus importante des

<sup>9</sup> Estimations sur la base des taux de croissance annuelle moyens calculés à partir des données du Recensement Général de la Population de l'INSEE des années 1990, 1999 et 2007.

<sup>10</sup> Schéma de mise en valeur de la mer. C'est un outil d'aménagement du territoire visant à définir et localiser les enjeux liés aux espaces littoraux. Très peu ont été adoptés depuis le milieu des années 90. Celui de la Martinique a été approuvé par décret le 23/12/1998. On peut noter qu'en métropole, l'un des rares adoptés est celui du Bassin de Thau, territoire dont la modélisation dans un travail précédent (Crotet, 2007) sert d'appui à la présente étude (cf. Deuxième partie).

hauteurs des parties centrales et sud de l'île. Le type d'espace qui a connu la plus forte conquête par l'urbanisation est l'espace agricole, ce qui est assez classique. 3.500 ha ont été consommé par l'urbanisation en 10 ans, soit plus de 7% de l'espace agricole total (47.402 ha).

Les espaces d'urbanisation du Schéma d'Aménagement Régional n'ont pas été utilisés de manière optimale : « *En effet en 2004, il restait encore près de 7.200 ha à bâtir dans ces espaces et notamment dans les espaces d'urbanisation future qui sont encore libres à 71%* » (ADUAM, 2008, p.76). Ce constat souligne la difficulté d'accorder et d'ajuster le processus de construction et d'aménagement, qui concerne beaucoup d'acteurs tant publics que privés, avec des stratégies et des contraintes de conjonctures socio-économiques variées et en évolution constante, et les principes fixés à une date donnée par un document d'orientation d'aménagement du territoire. Dans le domaine de l'urbanisation, phénomène quasi-irréversible<sup>11</sup>, les corrections et inflexions à mener suite à des bilans tels que celui publié en 2008 par l'ADUAM, ne peuvent que porter sur une meilleure prise de conscience et coordination des actions futures.

## 2 L'espace insulaire martiniquais : éléments de contraintes

---

### 2.1 Analyse spatiale de la tache urbaine

Les données cartographiques de l'IGN permettent d'appréhender les caractéristiques spatiales de l'étalement des zones urbaines. L'exploitation des données issues des cartes topographiques de 1955 et 1983, ainsi que des données numériques BD Topo de 1994 et 2000, permet de réaliser une carte d'évolution de la tache urbaine sur 45 années (Figure 10). La tache urbaine établie à différentes dates est une représentation qui généralise l'emprise du bâti à son voisinage. La méthode suivie pour établir cet objet spatial dans un Système d'information géographique est celle définie par le CERTU (CERTU, 2008) : une zone tampon de 100 mètres autour des bâtiments, à laquelle est soustraite une zone tampon inverse de 100 mètres, permet de construire des polygones qui représentent l'emprise spatiale considérée comme allouée à l'usage du bâti (logements, bâtiments publics et d'activités diverses)<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> L'urbanisation n'est pas irréversible dans le temps long (cas des villes disparues suite à des catastrophes naturelles, des guerres ou une inadaptation généralement économique, illustrée par exemple dans le cas de sites miniers épuisés). Dans le temps court, on constate également des réagencements urbains de grande ampleur : l'exemple le plus actuel est celui de la crise des *subprimes* apparue en 2007, qui a provoqué aux Etats-Unis des situations socio-économiques telles que certaines villes, comme Flint dans le Michigan, ont engagé des actions de resserrement urbain, en rasant des quartiers entiers. Flint a vu 1.000 logements déjà rasés au bulldozer en 2009 et 3.000 autres devraient être détruits. Ces logements sont des maisons individuelles (source : Article de Tom Leonard, The Telegraph, 12 juin 2009).

<sup>12</sup> La méthode du CERTU propose une construction établie sur des distances de 50m ou 100m. Le choix de distances de 100m pour le calcul des zones tampons a été ici retenu pour des raisons conceptuelles (une agglomération morphologique est définie sur la base d'une distance de 200m au maximum entre 2 bâtiments, soit un regroupement de zones tampons de 100m autour de chacun d'eux) et des raisons de cohérence de généralisation cartographique de l'occupation du sol en mode raster à résolution 100m pour le modèle de simulation. Par ailleurs, les polygones de zones tampons finalement retenus après leur construction sont ceux qui ont une surface de 100m<sup>2</sup> et plus.

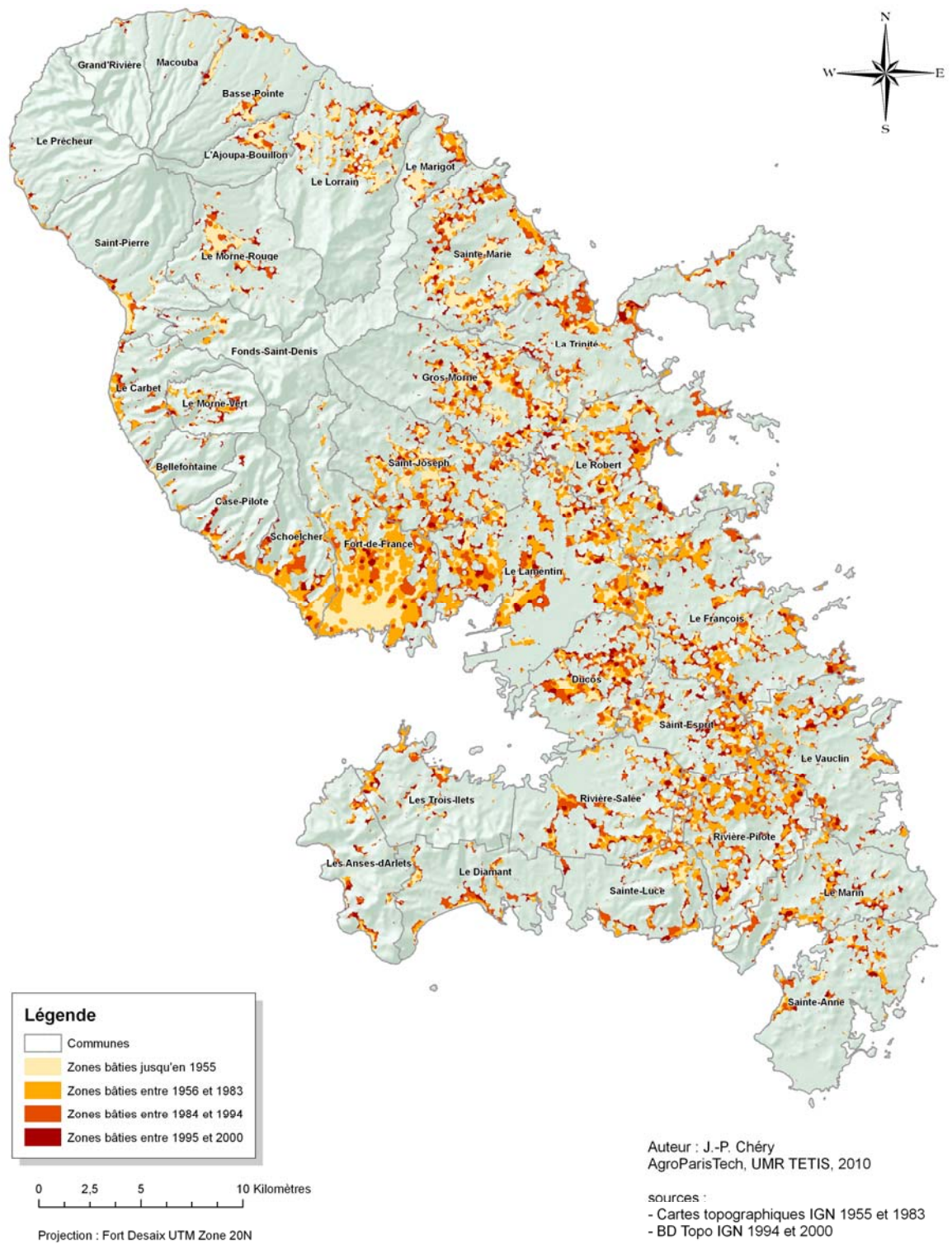


Figure 10 : Evolution de la tache urbaine en Martinique, entre 1955 et 2000 (source : IGN)

L'analyse spatiale des îlots distincts de la tache urbaine en 1955, 1983, 1994 et 2000 offre une mesure de l'étalement urbain de la Martinique (Figure 11) : leur nombre est passé de 1.586 en 1955 à 1.360 en 2000, ce qui reflète une connexion entre les espaces urbanisés et un étalement urbain important.

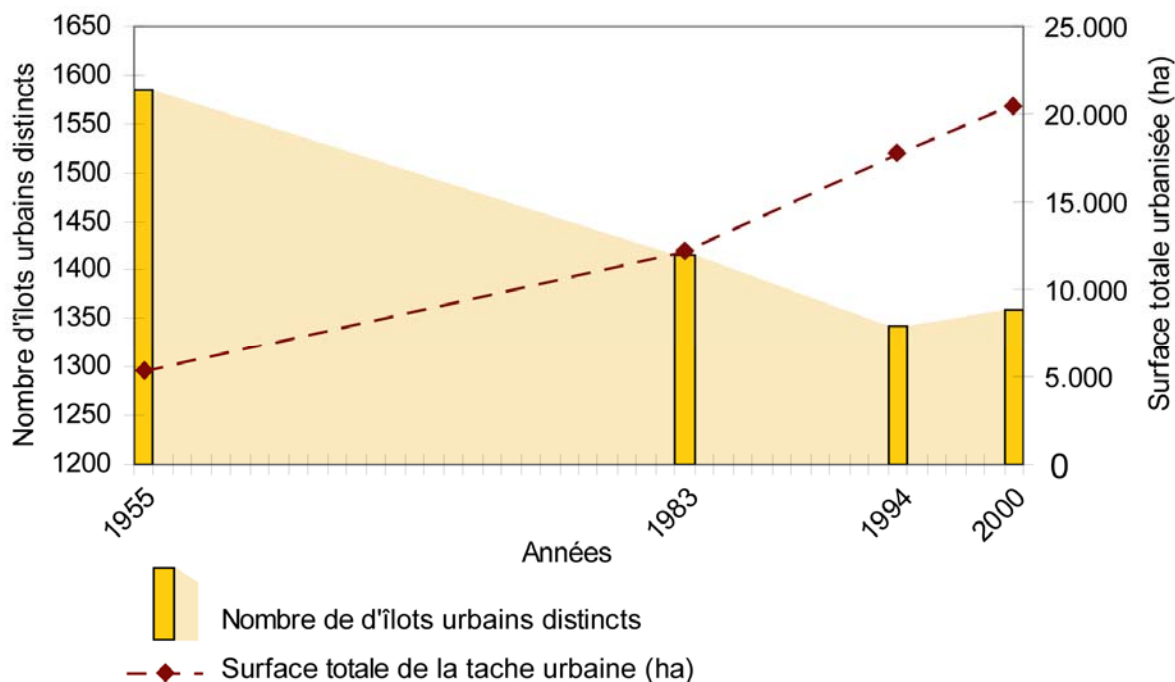


Figure 11 : Evolution du nombre d'îlots de la tache urbaine et de la surface totale urbanisée en Martinique, entre 1955 et 2000

La surface urbanisée quant à elle a concerné 5.386 ha en 1955 pour atteindre 20.507 ha en 2000. La croissance moyenne de la tache urbaine totale a ainsi été d'environ 336 ha par an. Le graphique indique une croissance qui s'est accélérée à partir des années 1980. On remarque qu'entre 1994 et 2000, le nombre de taches urbanisées a progressé, indiquant que la croissance n'a pas seulement été réalisée par des extensions de proche en proche, en nappe, mais également par des apparitions d'îlots. Ce dernier point indique un mitage en augmentation.

La Figure 12 illustre en particulier le phénomène d'extension de la tache urbaine, par connexion des îlots : les classes des tailles les plus importantes, en couleurs claires, augmentent leur emprise sur le territoire. Ce phénomène a une incidence très forte sur la fragmentation des habitats naturels terrestres. On peut ainsi observer, pour la situation en 2000, que un très grand îlot s'étend depuis mornes de Rivière-Pilote et de Sainte-Luce, au sud, jusqu'à la commune de Gros-Morne au nord. La tendance est donc au renforcement d'une séparation entre les habitats naturels de la frange littorale orientale et ceux du centre et de l'ouest de l'île. Sur ce point, la quasi disparition de la forêt sèche est en partie liée à cette urbanisation. L'enjeu de préservation d'habitats et d'espèces endémiques des îles tropicales comme la Martinique est ainsi très fort.

L'étalement urbain connaît donc des cycles d'extension du mitage et de connexion entre zones urbanisées, qui apparaissent ainsi complémentaires et *a priori* soumis à la contrainte de disponibilité locale en terrains constructibles et des zones attractives.

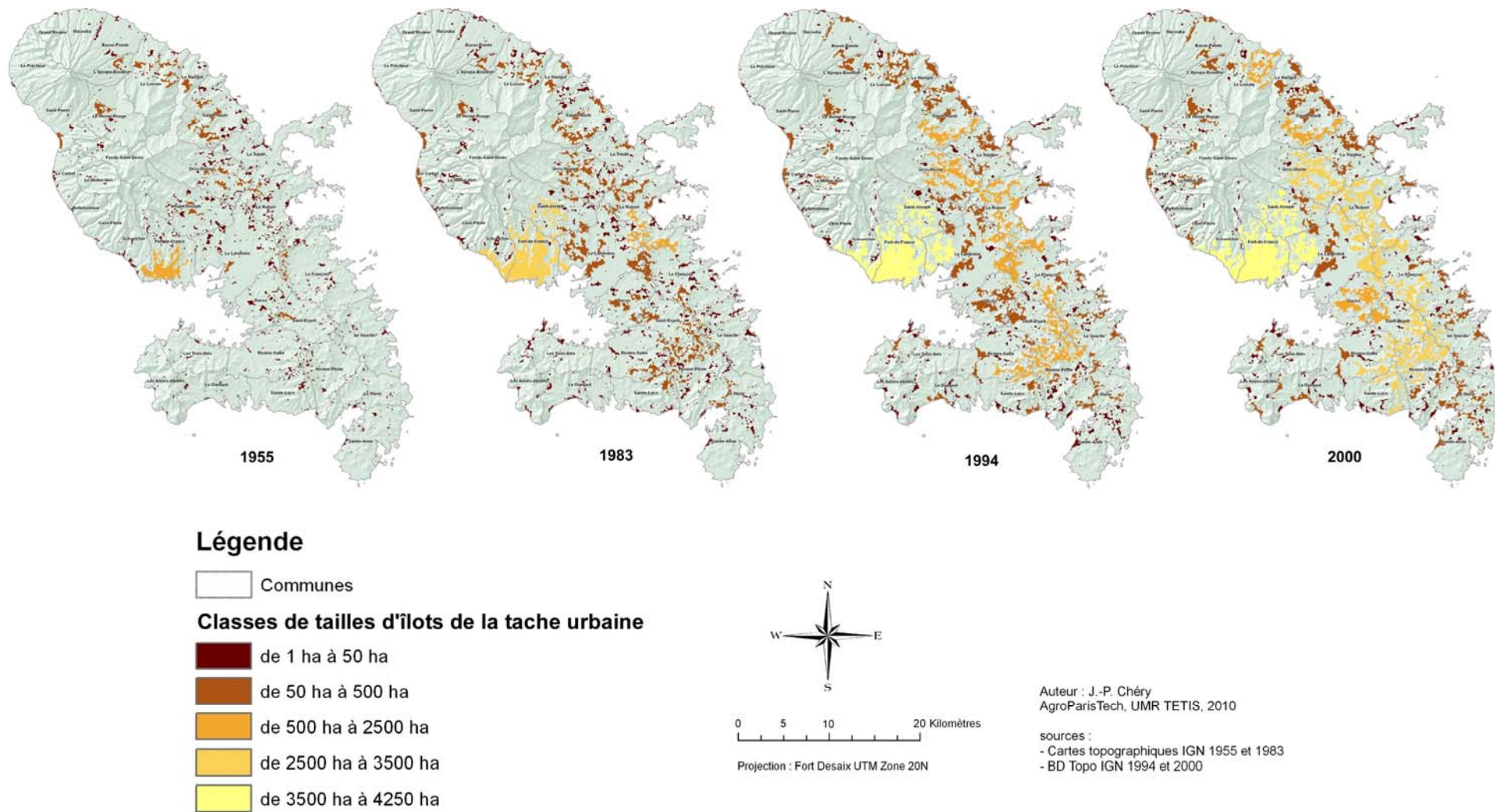


Figure 12 : Evolution des îlots de taches urbanisées en Martinique, de 1955 à 2000



## 2.2 Des aptitudes variées du territoire martiniquais face à l'étalement urbain

Les variations spatiales et temporelles de l'étalement des zones urbanisées dans l'île de la Martinique illustrent l'importance des contraintes, tant négatives que positives qui régissent le potentiel d'expansion du bâti. Face aux besoins de la population, en termes de logements et d'équipements qui artificialisent les sols, les actions qui visent à les satisfaire sont soumises à des contraintes qui relèvent du système territorial<sup>13</sup> martiniquais.

Parmi les éléments de contrainte, les configurations territoriales de la facette physique de ce système interviennent fortement. Ces configurations résultent des propriétés physiques, qu'elles soient naturelles ou matérielles :

- les propriétés naturelles sont liées à cette portion de la Terre qu'est la Martinique, avec des éléments naturels tels que l'insularité, un relief marqué et différencié du nord au sud de l'île, et des contraintes importantes. Pour ce qui relève de l'aptitude du territoire à recevoir des espaces bâtis, on pourra retenir principalement la pente et les contraintes des aléas naturels (volcanisme, glissements de terrain, zones fortement inondables ou de submersion marine par exemple). Ces contraintes sont généralement considérées comme négatives (un fort degré de pente rend difficile la construction par la nécessité coûteuse d'aménager le terrain, et les aléas sont des contraintes lorsque les risques sont forts), mais certaines peuvent *a contrario* apparaître positives, c'est-à-dire qu'elles exercent un tropisme sur le développement du bâti. Un exemple peut être la position sur un versant : une position haute assure un panorama agréable pour y résider, ou une bonne exposition au « *vent rafraichissant des Alizés* »<sup>14</sup>. Un autre exemple peut être la position avec vue sur la mer<sup>15</sup>, surtout lorsque l'habitat est intégré dans le système touristique, qui renforce l'image touristique de l'île tropicale.
- Les propriétés matérielles sont, pour leur part, liées à « la sélection sur les lieux », selon les contraintes des propriétés naturelles. Ces propriétés relèvent des usages de l'espace que la société retient pour son bénéfice. Les lieux sont donc choisis selon leurs propriétés naturelles et leurs localisations relatives les uns vis-à-vis des autres, en considérant le rôle important des distances et des structures spatiales (combinaisons des éléments localisés). La mise en valeur des sols (exploitation agricole, espaces naturels, habitat) crée un pavage du territoire, avec des concentrations et des dispersions voulues, contrôlées ou, *a contrario*, subies et non maîtrisées, dans un processus continu dans le temps. Les réseaux permettent de desservir les lieux entre eux et produisent des gradients de densité selon les flux qui y circulent et régulent les usages des habitants. Enfin, des limites sont affectées à l'espace, et créent des discontinuités et des zonages homogènes qui contraignent les usages. Les propriétés matérielles de l'île de la Martinique apparaissent comme héritées, comme en tout espace terrestre, des aménagements et usages établis précédemment. Ainsi, la compréhension de l'évolution de l'étalement urbain nécessite de prendre en considération d'une part l'occupation et l'utilisation du sol de l'île, et d'autre part les réglementations spatialisées, telles les plans

<sup>13</sup> Le système territorial est considéré ici selon les concepts développés dans l'article « Territoires », M. Le Berre, 1992, in Encyclopédie de géographie, sous la dir. de A. Bailly, R. Ferras et D. Pumain, pp. 635-656.

<sup>14</sup> Cette expression se rencontre régulièrement sur les sites internet pour vanter les qualités des hébergements touristiques des îles tropicales.

<sup>15</sup> Voir à ce propos la thèse de Samuel Robert (2009) portant sur « *la vue sur mer et l'urbanisation du littoral* ». Dans la présente étude, une spatialisation de la vue sur mer pour la Martinique a été produite, selon une méthode proche de celle proposée par S. Robert, avec des données moins précises. Ce type d'approche souligne l'intérêt de l'analyse spatiale pour explorer des pistes concernant les contraintes (positives ou négatives) intervenant dans l'urbanisation.

d'urbanismes, ainsi que les changements qui caractérisent ces différents facteurs de sélection sur les lieux.

Les aptitudes variées des lieux à accueillir le tissu urbain, combinées à la demande évolutive de ce type d'utilisation du sol pour une population elle-même marquée par une variation temporelle, constituent des éléments difficiles à appréhender. La modélisation spatiale et temporelle de ces éléments apparaît être une solution pertinente.

## 3 Comprendre le système territorial martiniquais pour mesurer ses enjeux liés à l'étalement urbain

---

### 3.1 Complexité spatiale et temporelle de l'étalement urbain

La complexité d'un système territorial correspond à des caractéristiques générales qu'il s'agit de bien considérer pour leur bonne prise en compte dans une démarche de modélisation. Les principales caractéristiques d'un système complexe<sup>16</sup> – ici territorial – sont :

- **l'holisme.** L'holisme considère qu'un système ne peut être étudié que globalement. C'est-à-dire que l'on ne peut analyser indépendamment les éléments qui définissent le système parce qu'ils sont en interaction. Dans le cas du territoire de la Martinique, on ne peut analyser l'évolution d'une seule partie de l'île sans risquer de mésestimer l'impact de l'environnement voisin. Si un équipement routier structurant est réalisé sur une partie de l'île, des changements d'accessibilités apparaîtront et, du fait de la taille de l'île, ces changements auront *a priori* une répercussion partout ailleurs dans ce territoire. D'un point de vue pédagogique, la Martinique apparaît comme un « idéal » holistique : le système insulaire est relativement facile à délimiter, le rivage créant la limite du système. Mais c'est une île ouverte sur son environnement régional et mondial : les échanges qui transitent par les ports, l'aéroport et les outils de télécommunication indiquent les interactions entre la population martiniquaise et le Monde. Les rapports migratoires et économiques importants de cette île avec le territoire européen qu'est la France, distante pourtant de 6.300 km, relativise « l'isolement » de l'île. Par simplification, l'étude menée ici n'envisage que le territoire insulaire. L'ouverture de ce système à son environnement apparaît dans les besoins évolutifs de la population, qui intègrent la part due aux migrations et donc au lien avec l'extérieur.
- **l'auto-organisation et l'émergence.** Ces notions nécessitent généralement d'étudier l'évolution du système sur le temps long. Un système territorial évolue tendanciellement avec des lieux qui se spécialisent. Un espace urbain est typique d'une forme d'auto-organisation : que ce soit les zones allouées à l'habitat – sous un contrôle public fort ou non – ou les types architecturaux ou urbanistiques retenus à tel ou tel moment de l'extension urbaine, l'espace urbain devient « particulier ». S'auto-organise ainsi un paysage, élément par élément, qui n'a pas été conçu au départ par une personne ou un groupe de personnes<sup>17</sup>, et qui émerge en prenant un sens social ou culturel qui se renouvelle en permanence. La forme émergente peut devenir une contrainte de stabilité : par exemple le patrimoine bâti d'une certaine époque apparaît à un moment donné comme spécifique, comme un patrimoine rattachant le présent

<sup>16</sup> Les propriétés listées ici sont reprise de H. P. ZWIRN, 2006

<sup>17</sup> La planification urbaine et l'urbanisme visent évidemment à réorganiser cette auto-organisation en évitant principalement les conséquences négatives. Sur le temps long, ces objectifs sont toujours à renouveler dans le système dynamique qu'est le territoire.

à une histoire passée qui est reconnue comme ayant une valeur, et qui définit une identité territoriale. Ce patrimoine est alors protégé, et peut contraindre les projets de constructions nouvelles (styles, couleurs, hauteurs, etc.). La case créole en Martinique est sans doute dans cette situation, et devient une norme pour des types d'habitat, dont celui qui est destiné à l'économie touristique. Dans le domaine plus précis de l'étalement urbain, on retiendra que l'habitat individuel, peu soumis à des contraintes de localisation, peut produire un mitage, dont la distribution peut, à un moment, produire ou faire émerger un tissu urbain plus dense dont l'extension constitue un nouveau paysage. Le choix urbanistique de « combler les dents creuses » des taches urbaines est une action qui s'appuie des formes de taches urbaines auto-organisées, qui essaie de réorganiser la forme auto-organisée. On comprendra que l'étalement urbain, en Martinique, est ainsi un exemple d'auto-organisation : l'habitat a d'abord été établi selon des considérations que l'histoire de l'île rappelle (C. Denise, 2004), avec un tissu urbain marqué par deux villes principales, Saint-Pierre jusqu'en 1902 et Fort-de-France, et un habitat rural, et depuis quelques décennies, des aménagements touristiques (Marina des Trois-Îlets, complexes hôteliers, « hameaux » de bungalows).

- **L'adaptabilité.** Cette caractéristique signale que rien n'est écrit, et l'histoire d'un territoire est généralement l'illustration d'une adaptabilité heureuse ou malheureuse à des contraintes de l'environnement et à des systèmes socio-économiques généraux qui interviennent plus ou moins rapidement. Ainsi, alors que la propriété précédente d'auto-organisation prenait l'exemple de l'habitat, on peut signaler que celui-ci, dans sa distribution, s'est adapté (c'est-à-dire que la société martiniquaise, ses habitants et les pouvoirs publics) à des contraintes fortes comme celle du risque volcanique. Les réglementations adoptées, en particulier les Plan de prévention des risques, illustrent l'adaptation à ces risques : la société accepte de ne pas construire sur des zones définies comme très risquées. Cette adaptabilité est généralement rarement optimale : la méconnaissance locale des risques, les comportements irresponsables sont des éléments qui – relativement – augmentent les risques. De plus, des attitudes vertueuses en un lieu peuvent être annihilées par des processus ou attitudes qui augmentent l'intensité d'un aléa depuis un autre lieu : c'est le cas classique d'une imperméabilisation des sols en amont qui augmente les débits et les crues en aval. Les actuels enjeux de « développement durable » et de « préservation de la biodiversité » affectent les territoires et poussent à évaluer leur capacité à s'adapter. Pour ce qui est de l'étalement urbain, un enjeu est généralement d'assurer la densification comme logique à suivre dans les Plans locaux d'urbanisme. Cette politique d'urbanisme crée une tension dans l'offre et la demande sur l'habitat : des espaces peu denses deviennent rares, et caractérisent selon leur localisation dans le territoire soit des domaines privilégiés pour des personnes aisées qui peuvent accéder à ce foncier, soit des espaces délaissés, peu accessibles. L'extension verticale des villes est un exemple d'adaptation à la contrainte d'accessibilité au centre et à la réduction des espaces constructibles. Selon le cas, l'espace urbain martiniquais pourrait se trouver face à cette alternative d'adopter des constructions hautes, ce qui serait la marque d'une modification forte du paysage urbain. La prise en compte des normes parasismiques contraint en revanche cette perspective, ne serait-ce que du simple point de vue financier.
- **L'évolution et la sélection.** Ces termes font référence à la théorie darwinienne de l'évolution et de la sélection naturelle. Mais un territoire et une société humaine ne sont pas « la Nature » elle-même. En revanche, l'analogie de certains aspects de l'aménagement et de la valorisation du territoire permet de reprendre ces termes pour signaler des caractéristiques complexes. L'évolution est un fait constaté généralement sur le temps long. En reprenant le point précédent, l'adaptabilité d'un système territorial marque son évolution par les choix et changements engagés à tel ou tel moment. La sélection

considère non un fait mais une « intelligence », une volonté qui définit les choix et les modifications apportées au système territorial<sup>18</sup>. Un exemple, dans le cas d'une île tropicale comme la Martinique, peut se trouver dans le domaine touristique : le modèle touristique adopté à partir des années 1970 a été celui d'un tourisme balnéaire avec des équipements touristiques permettant la consommation d'un espace/temps « exotico-tropical » pour les touristes de l'Hexagone : hôtels avec vue sur la mer bordée de cocotiers (avec une pression sur les mangroves qui n'appartiennent pas à ce paysage commercialisable jusqu'alors), piscines pour les bungalows, etc. Ce tourisme de masse, qui pèse également sur le foncier et l'accès de celui-ci pour les habitants de l'île, a marqué une évolution de la Martinique dont le paysage rural et naturel a peu à peu été dégradé. Une autre évolution est constatée sur l'île voisine de la Dominique, où l'écotourisme a été choisi récemment comme modèle. Les territoires de petite taille comme les îles des petites Antilles ont ainsi des caractéristiques très déterminantes sur leur évolution : un modèle de développement, « choisi » à un moment donné, marque l'évolution du territoire et affecte sa capacité à maintenir son développement dans la durée. C'est évidemment tout l'enjeu du développement durable d'assurer aux territoires une capacité à évoluer et non à décliner ou à disparaître comme lieux de vie. L'évolution de l'étalement urbain en Martinique pèse sur l'avenir de ce territoire sans que les conséquences soient facilement repérables. On rappellera ici que cette évolution se conjugue avec les risques apparus avec la chlordécone présente dans les sols de certaines zones de l'île et qui constitue un enjeu majeur de santé publique. Les zones d'habitat futures, qui pourraient être accompagnées traditionnellement de jardins créoles, sont ainsi une préoccupation de santé publique.

Le rappel des caractéristiques d'un système complexe territorial permet de souligner la diversité des enjeux et dynamiques qui peuvent intervenir dans un territoire comme celui de la Martinique. On retiendra que cette complexité ne peut pas être appréhendée facilement, d'après le nombre et la diversité des éléments, aux évolutions ou contraintes parfois contradictoires, et les temps d'émergence ou d'adaptation qui sont impliqués. Parmi les moyens efficaces pour aider à une meilleure prise en compte de cette complexité territoriale, la modélisation spatiale apparaît très intéressante. Cette modélisation permet de fournir des données de simulation de l'état du système territorial dans des contextes variés ou dans des évolutions temporelles qui peuvent suivre différents scénarios exploratoires issus d'une démarche prospective.

### **3.2 Concilier méthode de simulation spatiale et démarche prospective**

L'analyse et la modélisation spatiales constituent des méthodes aux modalités variées qui permettent deux grands types d'études :

- Le premier type est d'ordre scientifique et correspond à l'utilisation de ces méthodes pour vérifier des théories et valider des hypothèses : les modèles expriment, par leur caractéristiques, des lois d'organisation et d'évolution de l'espace géographique et la comparaison des résultats des modèles avec les mesures du terrain aident à préciser ces théories, à corriger leur domaine de validité.
- Le second type appartient à la recherche appliquée, au transfert des méthodes scientifiques vers l'ingénierie et les applications métiers.

L'étude développée ici se positionne dans une combinaison de ces deux types. L'analyse spatiale est, on l'a signalé, utilisée dans les démarches de diagnostic

---

<sup>18</sup> On peut ici indiquer que l'Ingénierie territoriale est un domaine de spécialisation professionnelle qui relève de ces aspects.

territorial : elle permet d'affiner des descriptions de distributions, de régionaliser des phénomènes et de définir des allocations spatiales. Utilisée en géomarketing comme méthode qui participe à la production d'aménagements ou d'équipements dans le territoire (choix de la localisation optimale d'un magasin ou d'un service public par exemple), l'analyse spatiale aide à approcher les notions d'équité ou de justice spatiale : l'accessibilité différenciée dans un territoire aux ressources et services est un élément important qui concerne les politiques publiques. L'aide à la décision, dans ce contexte, est importante et l'analyse et la modélisation spatiales proposent des méthodes particulières pour cet aspect de la démarche du développement et de l'aménagement du territoire. Les méthodes multicritères associées aux Systèmes d'information géographique sont également un exemple pour produire des représentations cartographiques qui différencient les lieux selon des modalités retenues par des groupes d'acteurs qui s'y rattachent. Par ailleurs, la prospective territoriale devient de plus en plus importante dans les phases de constitution des documents de planification : des scénarios différents, exprimant des contraintes extérieures variées (telle l'ampleur éventuelle du changement climatique, le tarissement des énergies fossiles) ou des choix politiques volontaristes (exprimés généralement dans des aménagements importants ou des mesures fiscales et des aides financières), doivent être évalués.

La Martinique possède une diversité d'institutions et d'établissements qui assurent la réalisation d'études de diagnostic territorial et de démarche prospective, ou qui mènent à bien les choix politiques retenus et les réalisations d'aménagement par leur financement et leur contrôle. L'avenir de l'île intéresse évidemment tous les habitants et les choix qui sont faits ou qui seront à faire suivent des procédures où la consultation de la population intervient. Les démarches de prospective territoriale sont alors capitales : la présentation des alternatives et de leurs conséquences « prévisibles » fournies des arguments pour les différents groupes et parties prenantes impliqués. Les méthodes de simulation spatiale appliquées à un territoire doivent donc bien être comprises dans les limites qui sont les leurs.

Ce travail issu de l'exercice pédagogique vise à sensibiliser à cette relation entre d'une part les enjeux réels du terrain et des acteurs du monde de l'aménagement, depuis les habitants jusqu'aux décideurs politiques en passant par les acteurs d'appui et de conseil, et d'autre part les pistes méthodologiques d'intégration de ces enjeux dans un modèle de simulation spatiale. Le constat qu'un système territorial est complexe amène à retenir des méthodes de modélisation qui quantifient les éléments. Ainsi, pour l'évolution du territoire martiniquais soumis à un étalement urbain constaté et plausible pour l'avenir, la prise en compte des différents types d'occupation du sol et la localisation des surfaces concernées par les évolutions possibles est nécessaire. Les quantifications relatives (tel type d'occupation du sol augmente ou diminue de tant d'hectares, en tant de temps, à tel ou tel endroit) invitent insidieusement à croire en un pouvoir prédictif et, finalement, à un « réalisme » du modèle et des résultats des simulations offertes. Là est le danger de ce type de méthode et des outils associés qui restituent dans un même langage visuel – la carte – ces résultats exploratoires de la même façon que sont généralement présentés les résultats de diagnostics et de bilans étayés par des mesures de terrain et des faits établis. La carte n'est pas le territoire, et le potentiel prospectif n'est pas le diagnostic avéré. La deuxième partie de cette étude vise donc à présenter le choix méthodologique retenu – la modélisation par automate cellulaire – pour en décrire les principes et les apports afin de répondre à une prise en compte de la complexité du territoire martiniquais, et également à en souligner les limites. L'exercice pédagogique, base de cette étude, assure en partie la portée volontairement limitée des résultats : les moyens matériels et humains engagés, les informations intégrées dans la modélisation, les scénarios adoptés permettent seulement d'illustrer les principes de ce type de démarche. La littérature spécialisée d'une part et les perspectives éventuelles que les résultats de cette étude peuvent inspirer sont à considérer pour évaluer la pleine portée de la modélisation spatiale pour la prospective territoriale.

**Deuxième partie**  
**Information géographique et automate**  
**cellulaire : une méthode de simulation**  
**prospective**

Il existe plusieurs familles de méthodes de modélisation spatiale pour la simulation et la prise en compte de scénarios. Elles se différencient par la prise en compte plus ou moins forte de certaines caractéristiques des systèmes complexes, et par leurs modalités de mise en œuvre.

La modélisation de l'évolution de l'occupation du sol, en particulier en rapport à l'évolution de la tache urbaine est ici réalisée par le recours à un automate cellulaire. On retiendra que les automates cellulaires constituent un type de modélisation qui prend bien en compte certaines propriétés d'un système complexe, en particulier l'auto-organisation et l'émergence. L'application d'un automate cellulaire à un territoire insulaire comme la Martinique permet d'assurer également une bonne prise en compte de la propriété holistique attendue pour ce système territorial. L'adaptabilité, l'évolution et la sélection sont, quant à elles, prises en compte dans la variété des scénarios et la période de temps simulée.

## 4 Présentation de la modélisation par automate cellulaire

---

La présente partie permet d'aborder succinctement la notion d'automate cellulaire, et l'utilisation d'un logiciel de modélisation et de simulation par automate cellulaire, *Spacelle*, développé par Patrice Langlois, de l'Université de Rouen.

Les paragraphes suivants sont largement extraits des articles de Dubos-Paillard et Langlois et de leurs travaux en modélisation spatiale par automate cellulaire (Dubos-Paillard, Langlois, 2003, 2005 et 2009 ; Langlois, 2010).

### 4.1 Définition de l'automate cellulaire

#### 4.1.1 Un système de cellules

Un automate cellulaire est un système dont les éléments sont des cellules. Chaque cellule est susceptible de traiter de l'information et d'agir comme un automate<sup>19</sup>. Chaque cellule est un automate et « l'automate cellulaire est un réseau de cellules interconnectées ». Ce réseau constitue une topologie : l'organisation des relations entre cellules, la structure de l'automate, définit un maillage où chaque cellule est une maille. Cette topologie correspond à un domaine spatial dont la dimension est soit :

- de dimension 1 (exemple de cellules qui n'ont que 2 voisines, comme les perles d'un collier, et s'organisent selon une ligne) ;
- de dimension 2 (exemple de cellules qui ont 4 voisines, selon des lignes et des colonnes, comme un damier de jeu d'échecs, et établissent un plan) ;
- ou de dimension 3 (exemple de cellules qui ont 6 voisines, les 4 voisines de la dimension 2 et 2 nouvelles, dans un plan orthogonal au premier, comme des appartements d'un immeuble avec des voisins « de l'étage du dessous » et « de l'étage du dessus », en plus des voisins du même étage).

Lorsque que l'on veut modéliser un espace géographique par automate cellulaire, on utilise généralement un automate de dimension 2, comme un plan ou une couche cellulaire. Cette représentation est analogue à une couche d'un système d'information géographique : une cellule est un lieu, positionné géographiquement par des coordonnées de longitude et de latitude. La taille de la cellule représente une portion du territoire, et celui-ci est plus ou moins bien finement représenté selon la résolution des cellules, comme une image raster ou les sommets ou les arcs d'un réseau d'une couche vectorielle dans un SIG. En dimension 1, on pourrait représenter une rivière par un ensemble de cellules : chaque cellule (un arc topologique par exemple) est un tronçon de la rivière et est en relation avec une cellule en amont (l'arc précédent) et une cellule en aval (l'arc suivant). On peut ainsi modéliser l'évolution d'un débit ou la diffusion d'une pollution de l'amont vers l'aval. Un automate cellulaire de dimension 3 permet quant à lui de modéliser par exemple l'atmosphère selon son étendue horizontale (la surface du globe terrestre) et son étendue verticale (les différentes couches aux propriétés physico-chimiques variées). Les modèles météorologiques utilisent généralement des représentations de l'atmosphère selon des cellules organisées horizontalement et verticalement.

---

<sup>19</sup> Définitions du terme « automate » : Machine qui, par certains dispositifs mécaniques ou électriques, est capable d'actions imitant celles des êtres animés. Dispositif théorique ou pratique assurant un enchaînement automatique et continu d'opérations arithmétiques et logiques en vue d'un résultat recherché. Machine réalisant des algorithmes. (*in* Dictionnaire de la langue française Lexis, Larousse, 1999).



Dans la suite de la présente étude, c'est un automate cellulaire de dimension 2 dont il sera question : le système territorial de la Martinique, marqué par l'évolution de l'occupation du sol, est représenté par une surface constituée par une couche cellulaire.

### 4.1.2 le voisinage

Il y a beaucoup de manières différentes de définir la forme d'une maille qui constitue l'organisation de la couche cellulaire (Figure 13). On peut avoir des mailles régulières (toutes les cellules ont la même forme) et des mailles irrégulières (la forme ou la taille des cellules varient). Pour les mailles régulières, on peut ainsi avoir 3 voisins pour chaque cellule (dans ce cas, elle est représentée par un triangle), 4 voisins (avec un maillage où chaque cellule est un carré), 6 voisins (les cellules sont des hexagones) ou 8 voisins (les cellules sont carrées et l'on compte en voisins, les carrés ayant les arêtes communes et les carrés ayant les sommets communs).

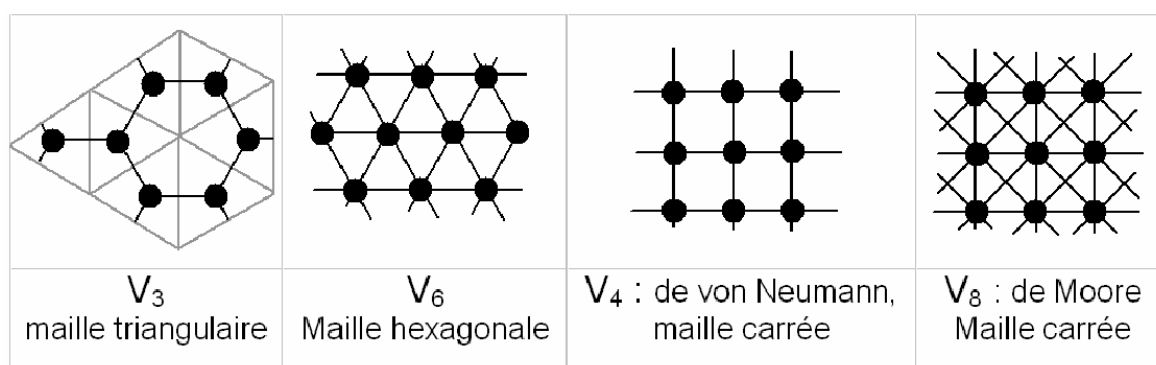


Figure 13 : Types de voisinages courants (in Dubos-Paillard, Langlois, 2005, p. 2)

Pour chaque cellule, le voisinage n'est pas seulement constitué de ses voisines immédiates. On peut avoir des relations de voisinage qui s'étendent à une distance plus importante. On définit alors le voisinage d'une cellule comme l'ensemble des cellules qui constituent une surface centrée sur cette cellule. La forme de cette surface dépend de la forme des cellules sélectionnées (triangles, carrés, hexagones) et du mode de définition de la distance maximale où joue l'influence du voisinage. La distance euclidienne rassemble ainsi toutes les cellules comprises dans un disque, défini par un rayon R et centré sur la cellule qui est dans cette relation de voisinage.

### 4.1.3 l'état cellulaire et les règles de transition

Un automate cellulaire représente un système dont la dynamique est représentée par l'évolution des états de l'ensemble des cellules. Un état correspond à une valeur d'une variable, qui peut être logique (« interdiction de construire » ou « autorisation de construire »), qualitative (« forêt », « champ cultivé », « bâti », « eau » par exemple) ou quantitative (« 0 habitant », « 23 habitants », « 712 habitants », etc.). Une cellule possède à un instant donné un état (dans le cas d'un automate monocouche) ou plusieurs états (dans le cas d'un automate multicouches), chacun appartenant à une couche différente et qui sont coprésents pour la cellule considérée. Une cellule peut avoir l'état « interdiction de construire, forêt, 0 habitant » et une autre l'état « autorisation de construire, bâti, 23 habitants ». L'état des cellules est défini à l'instant  $t=0$  ce qui constitue la configuration initiale. Le changement d'état ou la conservation de l'état d'une cellule est calculé à partir d'une fonction de transition T : l'état de la cellule à l'instant  $t+1$  est fonction de son état et de celui des cellules de son voisinage à l'instant  $t$ . La fonction de transition varie selon les changements d'état considérés comme possibles. Ces changements sont décrits par des règles de transition. On peut considérer par exemple les règles de transitions suivantes :

- *Etat « champ cultivé » vers état « bâti » : 3 cellules voisines sont en état « bâti »*

Cette règle indique qu'une cellule à l'état « champ cultivé » à l'instant  $t$  possède l'état « bâti » à l'instant  $t+1$  quand 3 de ses cellules voisines ont l'état « bâti » à l'instant  $t$ . Il s'agit alors de définir l'ensemble des transitions possibles ou qui méritent d'être prises en compte dans les simulations. Celles qui apparaissent impossibles ou minimales ne sont pas écrites : les calculs ne produiront pas ces derniers changements. Ainsi, la règle suivante – inverse de la précédente – n'est pas retenue :

- *Etat « bâti » vers état « champ cultivé » : 3 cellules voisines sont en état « bâti »*

On considère ici impossible la réaffectation des espaces bâtis en espaces agricoles, ce qui exprime le caractère définitif de l'urbanisation, si l'on établit une simulation pour quelques décennies.

Les règles de transition peuvent appliquer un mode déterministe (les conditions déterminent l'état résultant) ou un mode stochastique (l'état résultant des conditions est retenu par un tirage aléatoire). Le premier mode est illustré par la première règle indiquée plus haut, tandis que le second mode peut être représenté par cette même règle selon l'expression suivante : la règle indique qu'une cellule à l'état « champ cultivé » à l'instant  $t$  possède l'état « bâti » à l'instant  $t+1$  quand 3 de ses cellules voisines ont l'état « bâti » à l'instant  $t$ , et selon la probabilité de 1 chance sur 4. Il y a donc 25% de chance que ce changement soit effectif au temps  $t+1$ .

Pour modéliser un système spatial qui comporte plusieurs états possibles (une dizaine par exemple) et si l'on considère que certains d'entre eux peuvent évoluer vers plusieurs autres états, le modèle possède alors potentiellement de nombreuses règles de transitions (plusieurs dizaines par exemple). Cette prise en compte de nombreuses évolutions locales possibles exprime le principe d'auto-organisation, qui dépend des états et des voisinages, et le principe d'émergence pour l'ensemble de l'automate (et du territoire représenté) si des formes et structures nouvelles apparaissent dans la succession des pas de temps de simulation.

## **4.2 Le logiciel Spacelle, plate-forme de modélisation par automate cellulaire**

### **4.2.1 Caractéristiques générales de Spacelle**

La plate-forme de modélisation SpaCelle permet de construire des automates cellulaires en définissant :

- une liste d'états ;
- des couches cellulaires différentes, de type maillé
- des couches de réseaux et points vectoriels ;
- des règles de vie et des règles de transition.

Ces quatre types d'éléments à définir conditionnent la précision, la représentativité et la complexité du territoire modélisé et constituent la base de connaissances du système modélisé. La liste d'états correspond à tous les états possibles que peuvent prendre les cellules des couches cellulaires en mode maillé et les états différents présents dans les couches vectorielles (réseaux de lignes et points). Cette liste doit donc s'accorder à des états existants et des états qui peuvent apparaître dans le futur. Les différentes couches de type maillé représentent la structure spatiale discrétisée par les différents états à l'instant initial ( $t=0$ ). Généralement, ce sont certains ou tous les états de ces couches maillées qui sont décrits dans les règles de vie et les règles de transition : les évolutions observables appartiennent à ces couches. Les couches de

réseaux et de points vectoriels présentent des objets linéaires ou ponctuels, dont les valeurs associés à leur position contribuent à la définition de l'état des cellules positionnées au même endroit, ou dans leur voisinage si cela est intégré dans une règle de transition<sup>20</sup>. Ces règles de transition forment avec les règles de vie l'algorithme général du modèle, base des calculs qui permettent d'établir les simulations.

La version du logiciel Spacelle utilisée dans la présente étude est la version 5.0.3. mise à disposition gracieusement par son auteur, Patrice Langlois, de l'Université de Rouen, elle varie fortement de la version 4 disponible sur internet<sup>21</sup>. C'est une version multi-couches qui intègre différentes couches de cellules maillées (carrés ou hexagones) et de couches vectorielles de lignes ou de points.

Les couches peuvent être créées directement dans la plate-forme ou importées depuis des couches de logiciels SIG (format GRID ASCII et format vectoriel « shape »).

Les différents états sont codés par différentes valeurs numériques et la liste des états fait correspondre ces valeurs numériques aux intitulés et aux abréviations de description. On pourra avoir ainsi :

- 1 - Espace naturel - Nat
- 2 - Espace agricole - Agri
- 3 - Espace bâti - Bati
- Etc.

#### 4.2.2 Le comportement cellulaire

Le comportement de chaque cellule, c'est-à-dire son changement d'état ou non, est basé sur le principe de concurrence entre les règles. Chaque règle prend une forme syntaxique du type : «  $Etat_1 > Etat_2 = Expression$  ». Deux types de règles sont distingués, comme signalé plus haut : des règles de vie et des règles de transition (annexe 2). Les états sont ainsi décrits selon leur « force de vie ». Cette force décrit la propension pour un état à durer dans le temps, à partir de sa « naissance » pour une cellule donnée (avec la valeur 1) jusqu'à sa mort « naturelle » ou « intrinsèque » (avec la valeur 0). Il y a plusieurs types de forces de vie (codées par des abréviations, indiquées ici entre parenthèses) :

- durée infinie (DI). *A priori*, quand l'état apparaît, il ne peut plus disparaître ;
- durée fixée (DF). L'état a une vie, pour la cellule concernée, qui reste jusqu'à un instant qui correspond à cette durée fixée ;
- durée aléatoire (DA) selon une espérance de vie et un écart-type. Dans ce cas, l'état de la cellule a une force de vie dont la durée est établie par tirage au sort dans une plage de valeurs (qui décrit un écart-type pour une série statistique à tirage aléatoire).

Par exemple, la règle de vie de l'état « espace agricole » peut prendre la forme suivante :

$$Agri > Agri = DA(40 ; 20)$$

qui signifie : l'état « espace agricole » (Agri) a une force de vie qui devient nulle après une durée de vie aléatoire (DA) caractérisée par une espérance de vie de 40 ans et un écart-type de 20 ans. Si aucune règle de transition ne produit une valeur supérieure à

<sup>20</sup> Il existe des automates cellulaires à base de vecteurs et de graphes, permettant de traiter des objets géographiques définis avec un voisinage non régulier. Les pistes de développement méthodologiques sont en cours depuis la première décennie du XXIème siècle.

<sup>21</sup> <http://www.spatial-modelling.info/Cellular-Automata-SPACELE>

la règle de vie de l'espace agricole, état qui est attribué à une cellule, alors cet état perdure entre 20 à 60 ans, selon le tirage aléatoire effectué. Evidemment, à chaque pas de temps, des valeurs issues de règles de transition peuvent faire transiter la cellule vers un autre état si elles sont supérieures à la valeur calculée par la règle de vie.

Les règles de transition indiquent la propension pour une cellule à passer d'un état à un autre selon une force de changement, issue des conditions au voisinage de la cellule concernée. Cette force de changement, d'une valeur entre 0 et 1, est comparée à la force de vie de la cellule (qui est donc d'une valeur entre 1 et 0) à l'instant t. Si cette force a une valeur plus élevée, alors la cellule change d'état, pour prendre celui défini dans la règle de transition (« d'un état vers un autre »). Il se peut que plusieurs règles de transition soient en concurrence parce qu'elles décrivent le changement potentiel d'un état donné vers différents autres états. Dans ce cas, c'est la règle qui produit la valeur la plus élevée qui remporte la procédure. A valeur égale, un tirage au sort est effectué pour retenir la règle de transition qui prend le dessus.

Les règles de transition emploient donc des fonctions de conditions spatiales qui permettent de calculer des valeurs de force de changement, à partir de conditions liées aux types d'états présents dans le voisinage, leur combinaison (co-présence nécessaire – établie par le signe « \* » – ou présence d'au moins un nécessaire, avec le signe « + »), leur position dans le voisinage (position définie par inclusion dans une zone de voisinage ou valeur de pondération selon la distance).

Une règle de transition est écrite par exemple ainsi :

$$Agri > bati = PV(bati + act; 2; 0,7; 1) * EV(rte; 4) * ZV(cont; 1)$$

et se traduit en langage courant par : « l'espace agricole devient de l'espace bâti lorsque le voisinage proche à 200m (valeur 2, considérant qu'une maille vaut 100m) est composé à plus de 70% (0,7) d'espace bâti (bati) ou d'activités isolées (act), qu'il existe une route principale (rte) dans un rayon de 400m (valeur 4) et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction (cont) dans les 100m (valeur 1) ».

La liste des fonctions de l'annexe 2 présente leurs différentes définitions et leur syntaxe.

### 4.2.3 Le pas de temps et la résolution spatiale

Dans Spacelle, les calculs établissent d'éventuels changements d'état à chaque pas de temps. La définition du pas de temps est conditionnée par la base de connaissance retenue : la liste des états et leurs changements potentiels au travers des règles de transition indiquent que ces changements sont connus et peuvent se réaliser selon une vitesse connue. L'enfrichement d'une zone agricole, quand ce processus est observé dans beaucoup de cas dans le passé, permet d'évaluer en combien de temps une zone agricole s'enfriche (considérant implicitement que le système territorial produit cet enfrichement). Il s'agit donc, à partir de la liste des états retenus comme importants à figurer dans le modèle, de définir quel est le pas de temps le plus fin nécessaire à la bonne prise en compte des changements pour l'état qui change le plus vite. De manière générale, la connaissance des territoires permet de retenir un pas de temps d'une année. Mais on pourrait, si un phénomène saisonnier semble très important, caler le pas de temps sur la durée des saisons (1 pas de temps équivalent à 3 ou 4 mois par exemple).

Le pas de temps permet d'évaluer les vitesses de propagation, de changement, etc. La portée spatiale d'un phénomène dans un pas de temps peut être alors définie. L'influence de zones bâties sur l'urbanisation d'une zone voisine peut être évaluée dans le temps par l'analyse sur des données historiques. On peut estimer alors quelle surface est consommée en moyenne en combien de temps, selon telle ou telle

condition. La surface minimale concernée par un changement possible pour le pas de temps retenu peut ainsi être évaluée. On affecte alors cette valeur de surface à la résolution de la couche cellulaire : une cellule représente une unité de surface minimale pour observer les changements.

Les modèles développés dans différentes plateformes de modélisation par automate cellulaire, concernant de simulations d'évolution territoriales, possèdent des résolutions variant généralement de 500m<sup>2</sup> à 1km<sup>2</sup>. Ces résolutions dépendent évidemment de la précision des sources cartographiques en rapport aux phénomènes étudiés. Dans le cas de changements d'occupation du sol, la résolution d'un hectare est fréquemment retenue.

#### **4.2.4 Les résultats possibles**

La plate-forme de modélisation Spacelle offre différentes représentations des états du système :

- des représentations cartographiques à chaque pas de temps de la simulation et leur enregistrement pour constituer une suite d'images pour une animation de la simulation entière ;
- des graphiques temporels qui représentent pour toute la durée de la simulation la variation du nombre de cellules pour chaque état possible ;
- Des informations localisées pour chaque cellule (les règles qui lui sont applicables et leurs forces respectives).

Les résultats peuvent être exportés dans un SIG et comparés à d'autres situations ou complétés par des plans d'information subsidiaires.

## **5 Le modèle d'évolution de l'occupation du sol de la Martinique**

---

L'exercice pédagogique est un développement limité de la modélisation appliquée à la Martinique. Les conditions de sa réalisation limitent sa pleine portée et engagent à définir en conclusion de l'étude les points qui nécessitent d'être développés ou préciser pour une meilleure prise en compte des conditions et contraintes de cette île. La base de connaissance est ainsi simplifiée : en ce qui concerne les règles de vie et les règles de transition, ont été entièrement reprises celles développées dans l'étude du Bassin de Thau (Crotet, 2007, annexe 3). Ces règles sont assez génériques pour produire des résultats globalement corrects. Il faudrait consacrer plus de temps pour l'analyse du système de l'évolution de la tache urbaine, ainsi que de l'évolution des zones agricoles et naturelles, pour assurer une représentation plus proche de la structure territoriale de la Martinique.

La liste des états et les différentes couches du modèle de l'automate cellulaire sont donc appliquées à la situation de la Martinique.

Le modèle est établi pour simuler l'évolution du territoire martiniquais sur une période de 25 ans (de 2000 à 2025).

### **5.1 Les couches cellulaires : définition des états**

Le modèle de simulation appliqué à la Martinique est caractérisé par des choix de représentation des états selon les différentes couches cellulaires. Une résolution de cellule de 100m de côté, soit 1 hectare, est fixée, ce qui permet d'intégrer sans

changement les règles de vie et de transition définies dans le modèle précédent appliqué au Bassin de Thau.

Par ailleurs, la liste des états est elle-même fixée et permet de produire les différentes couches cellulaires nécessaires au modèle :

- une couche cellulaire maillée d'occupation du sol, avec 11 états de surfaces ;
- une couche cellulaire maillée de contraintes spatiales, avec 3 états de contraintes ;
- une couche vectorielle de réseaux routiers, avec 2 états ;
- une couche vectorielle de points d'échangeurs routiers, avec 1 état.

### 5.1.1 La couche d'occupation du sol

Cette couche est essentielle pour la restitution des résultats. Les différents types d'occupation du sol qui peuvent être reconnus sur le territoire de la Martinique sont figurés dans cette liste (Figure 14).












couleur	Intitulé	Code
	Surfaces en eau	<b>eau</b>
	Centres historiques	<b>ch</b>
	Habitat collectif	<b>hcol</b>
	Habitat individuel	<b>hind</b>
	Zones d'activités	<b>za</b>
	Centres commerciaux	<b>cco</b>
	Port principal	<b>port</b>
	Espace agricole (cultures, savanes, autres)	<b>agr</b>
	Equipements publics	<b>equi</b>
	Activités isolées	<b>act</b>
	Espace naturel (forêts, mangroves, autres)	<b>znat</b>

Figure 14 : liste des états d'occupation du sol

La disponibilité de la BD Topo de l'IGN pour les années 1994 et 2000 permet de produire une carte d'occupation du sol selon ces types. Le modèle propose des états fixes (cas des surfaces en eau, des centres urbains historiques, du port principal à Fort-de-France, des équipements publics - comme les lycées ou les hôpitaux - et des activités isolées telles les carrières à ciel ouvert ou l'aéroport du Lamentin). Ces états sont stables dans le temps, les cellules affectées par ces états ne changent pas durant toute la durée simulée. Il est possible de modifier l'extension spatiale de ces états à n'importe quel instant de la simulation : on peut ainsi insérer l'ouverture d'une carrière ou la construction d'une cité hospitalière<sup>22</sup>.

Certains types d'occupation du sol sont des types potentiellement croissants. Ce sont les principaux types artificialisés : l'habitat individuel et l'habitat collectif, les zones d'activités (industriels ou de services) et les centres commerciaux. Ils gagnent potentiellement de l'espace sur le troisième et dernier groupe de types d'occupation

<sup>22</sup> La mise en service de la Cité hospitalière de Mangot-Vulcin, après 2010, déplace de 2 km vers la partie nord du bourg du Lamentin le Centre hospitalier existant jusqu'à présent dans le centre du bourg, avec également le rapatriement de certains services du Centre hospitalier spécialisé en psychiatrie de Colson, isolé dans les Hauts de la commune de Fort-de-France.

du sol, potentiellement consommés : les espaces agricoles (espaces de cultures, les savanes ou les friches), et les espaces naturels (les forêts, la mangrove ou d'autres types de terrains non exploités). La base des règles définit en complément une densification potentielle où l'habitat individuel laisse la place à l'habitat collectif. Cette distinction des types d'occupation du sol en catégories fonctionnelles est précisée dans le paragraphe qui aborde les règles de transition (page 55). Les cartes suivantes (Figure 15 et Figure 16) présentent la situation pour les années 1994 et 2000.

La couche d'occupation du sol peut être analysée aux deux dates pour évaluer les changements survenus et établir au mieux les calages de valeurs qui interviennent dans les règles de transition. Les changements sont évalués quantitativement grâce à une matrice de transition (Figure 47, Annexe 3). Dans cette matrice, on observe que ce sont 12.062 hectares qui ont changé de type d'occupation du sol (sur la base des cartes à maille d'un hectare de résolution). Les surfaces les plus importantes concernées portent sur l'espace agricole qui passe en espace naturel (5.199 hectares), et inversement, l'espace naturel qui devient de l'espace agricole (3.872 hectares), ce qui indique une déprise agricole globale (le bilan est de 1.327 hectares perdu par l'agriculture au profit des espaces naturels). Ces valeurs invitent à prendre avec circonspection la qualité des données cartographiques pour ces classes non urbanisées : la base de données BD Topo de l'IGN décrit des postes d'occupation du sol tant pour l'agriculture que pour les espaces naturels, mais cette description ne prend pas en compte toutes les surfaces concernées (les prairies et le maraîchage en particulier) et la typologie varie entre les deux dates<sup>23</sup>. Dans le cadre de l'exercice méthodologique de modélisation, qui porte sur les changements liés au bâti, nous considérons ici ces aspects secondaires.

La production de l'information spatiale de l'espace agricole est établie sur les emprises qui sont d'une part explicitement des zones cultivées pour la BD Topo de l'IGN (les bananeraies et la sole cannière) et d'autre part les espaces qui constituent l'espace restant hors de l'emprise des types d'espaces urbanisés et artificialisés et des espaces naturels (bois, broussailles, mangroves, rochers, zones sableuses, etc.). Ces zones restantes affectées à l'espace agricole sont majoritairement des zones de savanes dans le cas de la Martinique : espaces de pâtures ou friches et zones herbacées. On peut signaler une affectation discutable du fait de cette construction par « soustraction » : le sommet de la Montagne Pelée, qui présente une couverture végétale non forestière sur sa partie sommitale, est classé en zone agricole. Alors que ce n'est évidemment pas une zone cultivée, ni une zone de pâturage ou de friches. D'un point de vue cartographique, cela permet de faire la distinction avec le massif forestier localisé sur ses versants. Pour les simulations, il s'avère qu'il n'y a pas de conséquence du fait que cette zone de forts risques volcanique est sous contrainte d'interdiction de construction et qu'aucune route principale n'y accède. Une version ultérieure du modèle pourra facilement réattribuer cette zone dans le domaine des espaces naturels sans modifications des résultats.

---

<sup>23</sup> Dans les deux versions de la BD Topo de l'IGN, l'occupation du sol est décrite en 6 modalités pour 1994 (Banane, Bois, Broussailles, Canne à sucre, Mangrove et Verger), tandis que l'occupation du sol en 2000 est décrite par 15 modalités différentes (Bananeraie, Bois, Broussailles, Canne à sucre, Fond de cuvette, Gravier et galets, Mangrove, Ravine, Rochers hydrographiques, Rochers orographiques, Sable et vase, Sable sec, Verger, Vigne et Végétation aquatique).

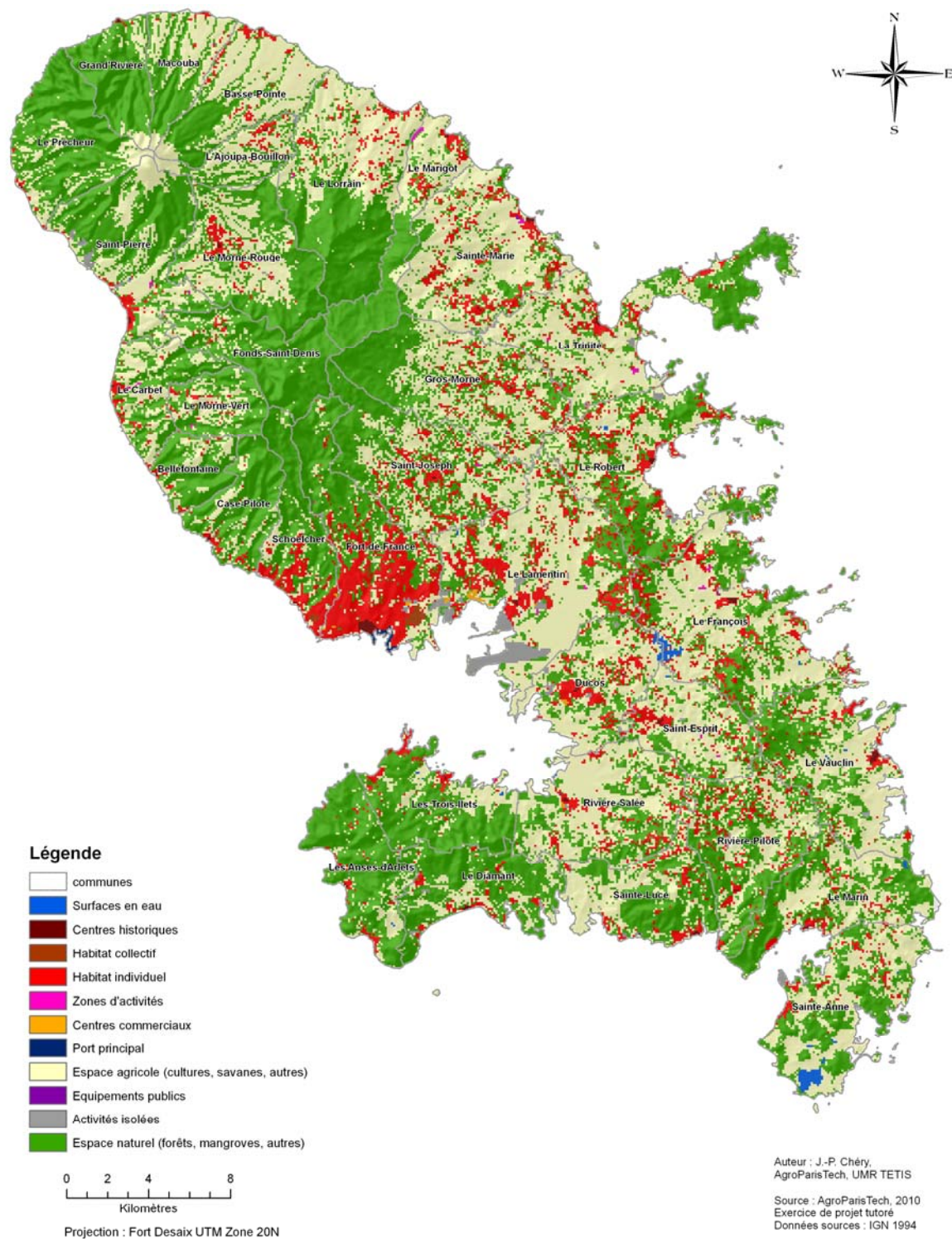


Figure 15 : Occupation du sol en Martinique, état en 1994



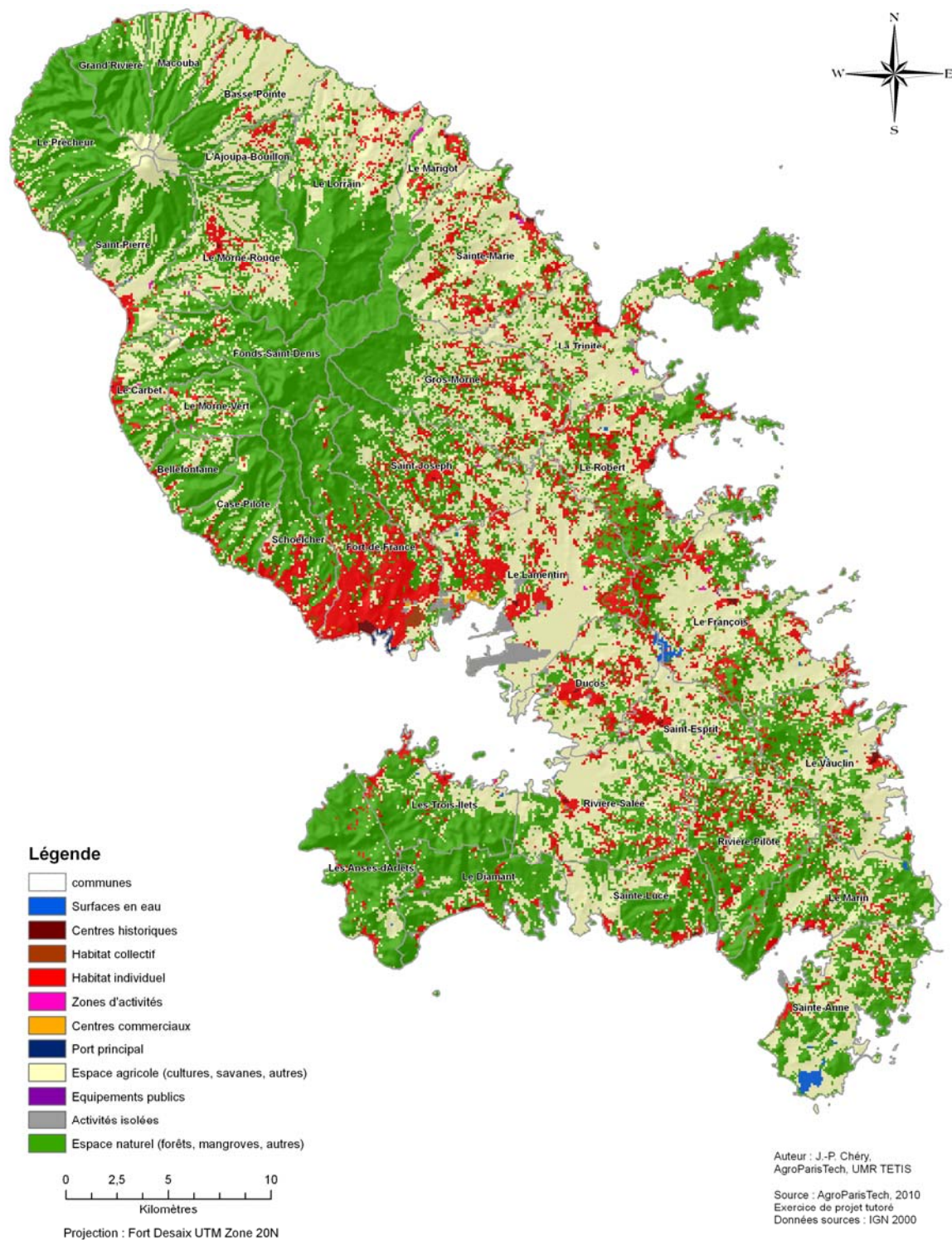


Figure 16 : Occupation du sol en Martinique, état en 2000

En ce qui concerne les changements portant sur la croissance des zones de bâti (habitat collectif ou individuel, zones d'activités, centres commerciaux), les surfaces concernées portent sur 1636 hectares. En fait, ce sont les zones d'habitat individuel qui sont repérées dans cette comparaison. Là aussi, l'information initiale rapportée à une maille d'un hectare peut jouer dans une généralisation qui avantage cette catégorie de bâti : la tache urbaine élaborée par zones tampons concerne seulement ce bâti individuel.

C'est sur la base de telles analyses que des règles de transition, moteur de l'automate cellulaire, sont établies. On rappelle ici que, dans le cadre de l'exercice pédagogique, ces règles sont celles établies dans le cadre d'un travail qui modélisait les changements dans l'espace de l'étang de Thau, en Languedoc-Roussillon. Cette étape est en effet la plus longue et la plus lourde en termes de production de connaissances adaptées au terrain d'étude. L'exercice pédagogique n'avait pas prétention à assurer la production d'une telle connaissance en aussi peu de temps et moyens. Là aussi, des perspectives seront tirées en conclusion de ce rapport.

### **5.1.2 Les couches du réseau routier principal et des échangeurs**

Le logiciel Spacelle permet d'intégrer, grâce à son mode multi-couches, des états établis par des objets linéaires et ponctuels. Ainsi, un tronçon routier qui se superpose à des cellules d'un hectare renseigne ces cellules d'un état associé à cette route. Une route importante est considérée comme favorable à l'établissement d'équipements, de zones commerciales ou d'activités, en relation à l'accessibilité. Une zone d'habitat est également considérée comme favorisée pour son implantation quand un réseau routier préexistant assure immédiatement sa bonne desserte. En revanche, une route à très fort trafic peut représenter un inconvénient, surtout dans le secteur de l'habitat individuel marqué par des résidents propriétaires : ceux-ci cherchent *a priori* des conditions d'environnement paisibles. Ainsi, l'effet de la présence de la route peut être intégré dans le modèle Spacelle d'une part en introduisant le tracé de celle-ci sous la forme de linéaires, et d'autre part en adoptant des états différents selon les types de routes qui interviennent différemment dans les logiques de localisation.

Les données IGN de la BD Topo fournissent un tracé précis des routes, depuis les autoroutes ou voies express jusqu'aux chemins et sentiers pédestres. Une simple analyse spatiale permet d'évaluer les types de réseaux routiers qui doivent être pris en compte pour une bonne prise en compte de la relation de distance entre ces réseaux et les surfaces bâties. En évaluant la distance de chaque portion des taches urbaine de 1994 et 2000 au réseau routier principal de l'île (voies rapides, routes nationales et départementales), on remarque que plus de 97% des surfaces bâties sont à moins de 200 m d'un tronçon. Pour 1994, l'hectare bâti le plus éloigné d'une route principale est à 2263 m de celle-ci tandis que pour 2000, on trouve la distance de 3517 m (Figure 17).

On peut donc estimer qu'en ne retenant que le réseau principal, les routes, comme états dans l'automate cellulaire, auront des effets très convenablement pris en compte.

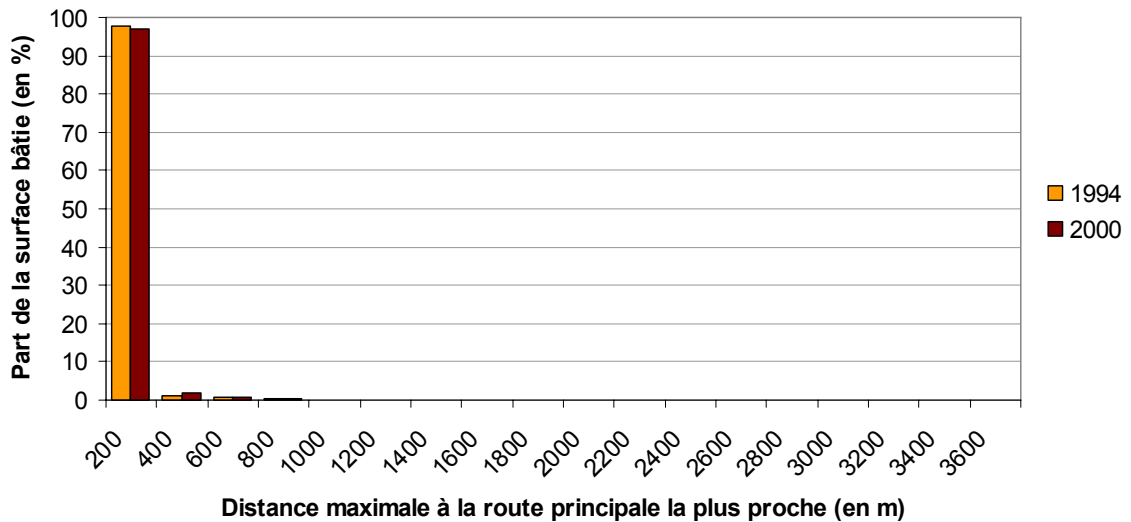


Figure 17: Rapport entre les surfaces bâties en 1994 et 2000 et la distance au réseau routier principal

Les échangeurs routiers<sup>24</sup>, localisés sur une voie rapide (que l'on nomme également diffuseurs routiers), sont considérés comme importants dans la localisation des zones d'activités ou des zones commerciales : ce sont des points à fort trafic, peu intéressants à proximité immédiate pour un habitat individuel et assure l'accessibilité des voies rapides, évidemment non accessibles hors de ces points. L'intégration de ces types d'états dans le modèle Spacelle est importante. La carte suivante (Figure 18) représente les tracés des routes principales et la localisation des échangeurs, représentant deux couches dans le modèle, avec 3 états qui s'ajoutent aux 11 états de la couche d'occupation du sol : un état « voie rapide » correspondant à l'autoroute ou voie rapide entre Fort-de-France et le Lamentin, un état « voie principale » qui associe les routes nationales et les routes départementales, et enfin un état « échangeur », où l'on situe des croisements entre la voie rapide et les autres voies.

On peut préciser ici que l'information utilisée dans la BD Topo pour les types de routes, à savoir le champ « Catégorie », propose cinq types différents intitulés « Autoroute », « Nationale », « Départementale », « Route nommée » et « Autre route ». La couche d'information possède 31.454 tronçons différents. Les trois catégories principales permettent de ne retenir seulement que 6.107 tronçons. D'un point de vue topologique, il est par ailleurs recommandé de simplifier les tracés en relation à la résolution d'une maille de 100 m afin de ne pas alourdir inutilement le fichier du modèle sur lequel sont calculées les simulations : l'information utilisée par le modèle est la présence ou l'absence d'un tronçon routier sur une maille et non les caractéristiques précises telles que la longueur effective du tronçon sur la maille ou les variations de tracés ou le nombre de virages. L'information « catégorie » peut présenter des défauts relativement à la réalité de praticabilité des tronçons routiers. Un exemple martiniquais est la route départementale N°10 entre le Prêcheur et Grand'Rivière. Sur une bonne douzaine de kilomètres, cette route est toute nominale et constitue plus exactement un sentier non carrossable<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> Le mot « échangeur » est techniquement impropre dans le cas présent : un échangeur est un carrefour nivelé entre deux autoroutes ou voies rapides. Quand le carrefour aménagé relie une autoroute à une route, on utilise le terme de « diffuseur ». Ici, le terme « échangeur » est retenu pour sa meilleure signification de symétrie dans les échanges entre lieux. Une autoroute diffuse, mais concentre également les flux. Tout dépend de la direction, et de l'heure.

<sup>25</sup> En Métropole, une route départementale est presque dans le même cas : la D17 des Alpes de Haute-Provence, avec une longueur d'environ 15 km non goudronnés, mais quand même carrossables.



Figure 18 : Réseau routier principal de la Martinique en 2000

### 5.1.3 La couche des contraintes

Le modèle utilisé pour l'application au cas martiniquais reconnaît des contraintes qui définissent des zones où les changements d'occupation du sol sont empêchés (contraintes négatives) ou favorisés (contraintes positives). Dans la première partie de la présente étude, ces contraintes avaient été esquissées, entre propriétés naturelles et propriétés matérielles du système territorial. Le modèle prend en compte les différents zonages liés aux pentes (Figure 38, Annexe 3), aux zones des Plans de prévention des risques (Figure 42, Annexe 3) et aux zonages des POS et PLU disponibles (Figure 43, Annexe 3). Il est important d'indiquer ici qu'il est nécessaire de cumuler les contraintes des plans d'urbanisme et des plans de prévention des risques naturels du fait que les premiers ont pu être élaborés avant 2004, date d'achèvement du zonage des PPRN. Les POS tendent à être remplacés par les PLU, et ces derniers intègrent le zonage des PPRN au fil de leurs adoptions et révisions après 2004. Certaines zones à risques étaient quand même heureusement déclarées inconstructibles dans les anciens POS.

La spatialisation des contraintes affecte aux cellules de la couche des valeurs qui interviennent dans les règles de transition pour empêcher ou rendre possible et favoriser les changements d'état vers les états artificialisés. Les trois types thématiques qui sont reconnus comme pertinents dans la définition des contraintes générales sont traités spatialement, indépendamment les uns des autres.

**Les pentes**, produites à partir d'un modèle numérique de terrain à résolution 50m construit sur les données de l'IGN, sont réaffectées à la résolution de 100m, qui correspond à la résolution utilisée dans le modèle. La valeur de 15% de pente est retenue comme valeur maximale pour l'implantation du bâti. Cette valeur estimée est issue des traitements d'analyse spatiale (Figure 19).

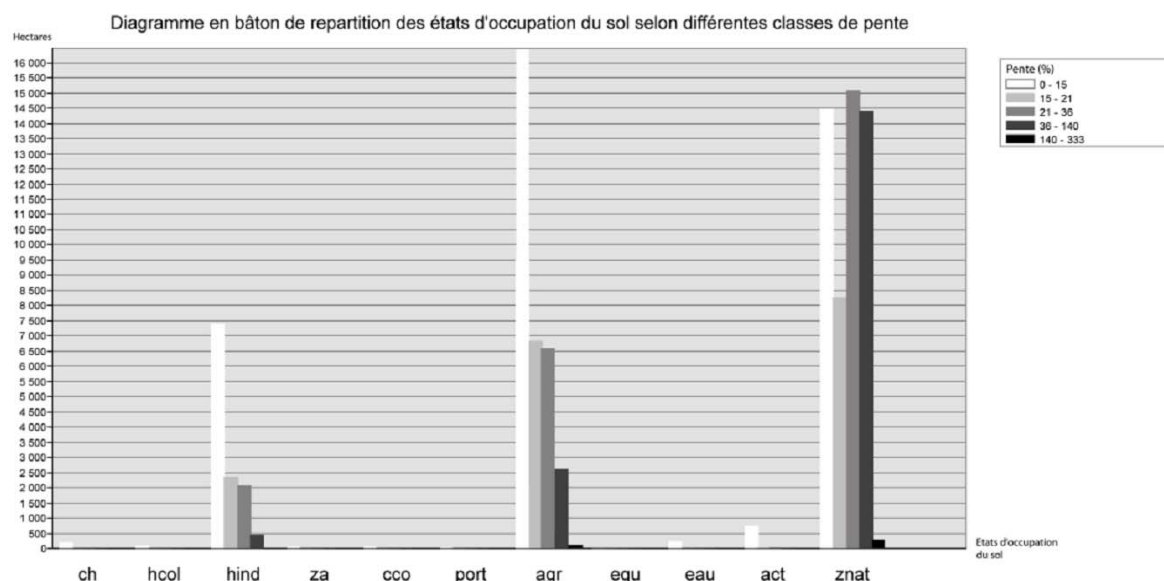


Figure 19 : Répartition des types d'occupation du sol selon différentes classes de pente - La classe inférieure à 15% est en blanc (Source : SIIG3T, 2010)

Cette figure indique que la grande majorité des zones en habitat individuel (hind) sont sur des pentes à moins de 15%, tandis que les zones naturelles s'étendent majoritairement sur des pentes supérieures à 21%.

**Les Plans de prévention des risques naturels** définissent des zones de contraintes très importantes en matière d'urbanisme. La DDE 972 a mis à disposition le zonage réglementaire achevé en 2004 (Figure 42, Annexe 3) qui présente quatre types de zones aux contraintes grandissantes :

- zone 1 : Application de prescriptions particulières ;
- zone 2 : Application de prescription particulières et nécessité de réaliser au préalable un aménagement global pour mise en sécurité vis-à-vis des aléas ;
- zone 3 : Pas de constructions autorisées sauf exceptions précisées au règlement ;
- zone 4 : Pas de constructions autorisée.

Deux autres types d'espaces sont décrits par ailleurs : les zones où il n'y a « pas de contraintes particulières mais application des règles parasismiques et paracycloniques en vigueur » et les zones naturelles protégées dont le PPR n'a pas été étudié (il s'agit des forêts domaniales des Pitons du Carbet et de la Montagne Pelée).

Les contraintes à l'urbanisation sont déclinées en deux types : les contraintes négatives sont localisées dans les zones de types 3 et 4 ainsi que dans les zones naturelles protégées sans PPR (on considère que ces zones naturelles sont très surveillées et aucun habitat ne peut s'y implanter). Les autres zones (de types 1 et 2, et sans contraintes particulières) sont justement autorisées à accueillir potentiellement du bâti.

Enfin, **les plans d'urbanisme**, Plans d'occupation des sols (POS) et Plans locaux d'urbanisme (PLU) interviennent dans la réglementation de l'aménagement du territoire de chaque commune qui a adopté ces types de documents (*Figure 43*, Annexe 3). L'accès aux données géographiques a été permis par l'ADUAM, qui a gracieusement fourni l'information dans le cadre de cet exercice pédagogique. Certaines communes ne sont pas couvertes par le périmètre d'intervention de l'ADUAM. Les communes du Lamentin et du Marin, sollicitées, ont également mis gracieusement leurs PLU à disposition. Trois communes apparaissent sans information localisée : Rivière-Pilote (qui possède une carte communale), Fonds-Saint-Denis (où s'applique le Règlement national d'urbanisme) et le Lorrain (qui possède un PLU, mais le temps limité de réalisation de l'exercice n'a pas permis d'assurer un contact avec cette municipalité pour obtenir l'information). Pour ces trois communes, les zonages des plans d'urbanisme ne sont donc pas pris en compte et peuvent affecter localement les résultats de simulation.

Les POS et PLU posent un problème général plus important : ils sont, d'après la veille des mises à jour assurée par l'ADUAM, dans des statuts et niveaux d'adoption ou de révision très variables (ADUAM, 2009). Les PLU approuvés concernent 34,2% du territoire martiniquais tandis que les POS en vigueur s'étendent sur 60,4% de l'île. Les 5,3% restants concernent Rivière-Pilote et Fond-Saint-Denis aux documents d'urbanisme particuliers (Carte communale et Règlement national d'urbanisme). La Figure 20 indique l'étalement dans le temps des dernières adoptions ou révisions des POS et PLU pour les différentes communes, jusqu'à fin 2009.

Cette figure montre bien que le territoire du département est structuré par des documents qui reflètent des préoccupations municipales plus ou moins anciennes et en constant renouvellement. Pour la modélisation, les documents d'urbanisme ultérieurs à 2000 ont ainsi été utilisés par simplification : c'est le cas général. Pour les POS, beaucoup de révisions ont eu lieu, tandis que l'adoption de PLU s'est peu à peu diffusée. En 2010 d'ailleurs, deux communes (Sainte-Luce et le Diamant) ont vu leurs nouveaux PLU approuvés.

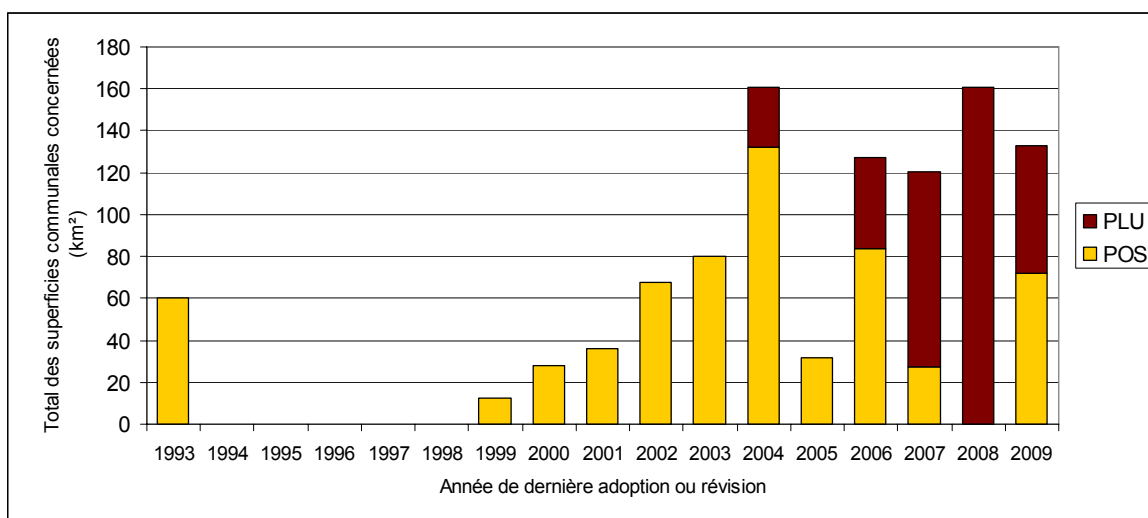


Figure 20 : Date des dernières adoptions ou révisions des documents d'urbanisme communaux (POS et PLU), jusqu'à fin 2009 (Source : ADUAM, 2010)

Les calendriers d'adoption des PLU pour les communes restantes indiquent des approbations pour les prochaines années.

Les nomenclatures des zonages des POS et PLU sont différentes par le nombre de postes et leurs intitulés. Le choix a été fait de retenir la nomenclature synthétique des PLU en quatre types (U, AU, A et N) qui définissent les zones urbanisées, les zones à urbaniser, les zones à vocation agricoles et les zones naturelles. Du point de vue des contraintes, on considère que seules les zones naturelles limitent l'extension urbaine. Les zones urbaines existantes et les zones à vocation agricole peuvent recevoir les extensions urbaines (les premières, par densification ou comblement de « dents creuses » identifiées dans la carte d'occupation du sol), tandis que les zones classées AU, à urbaniser, sont considérées comme favorisées dans la propagation du tissu urbain : la planification invite justement les extensions à se réaliser dans ces espaces, généralement accompagnés de mesures d'aménagement techniques (viabilisation par les voies d'accès et les réseaux techniques).

Ces trois couches de contraintes ainsi définies permettent de produire une couche de contraintes générales (négatives, neutres ou positives) pour l'étalement urbain. Une cellule possède une contrainte négative si elle possède au moins une valeur de contrainte négative issue de l'un des trois plans de contraintes (pentes, PPR ou POS/PLU). Les cellules non affectées de ces contraintes négatives se distribuent entre contrainte neutre (l'étalement urbain se déroule sans conditions autres que celles issues des autres couches) et contrainte positive (définie par les zones AU du plan POS/PLU). La Figure 21 reprend la démarche de production de la carte synthétique des contraintes (Figure 22).

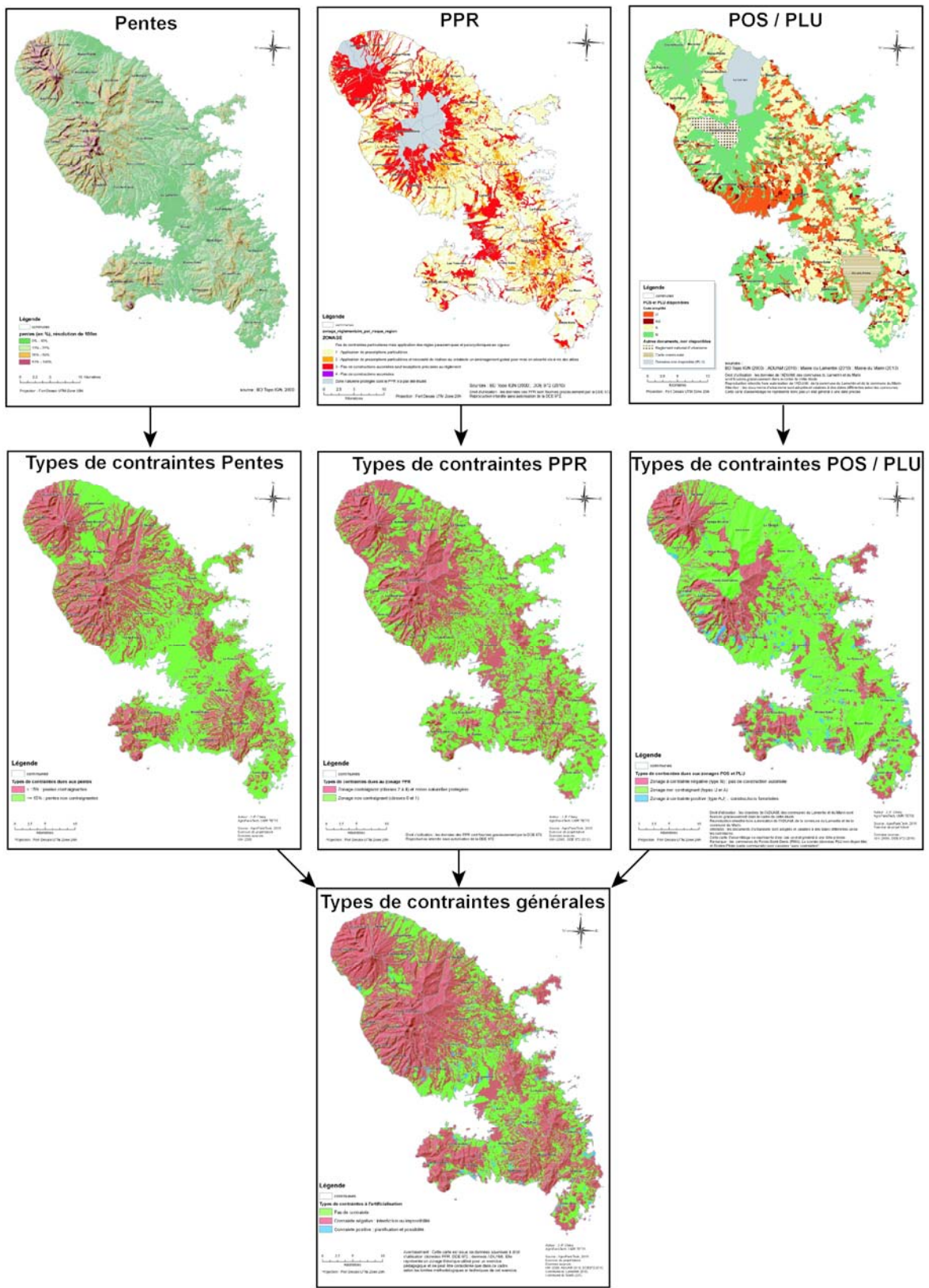


Figure 21 : Procédure de production de la couche des contraintes



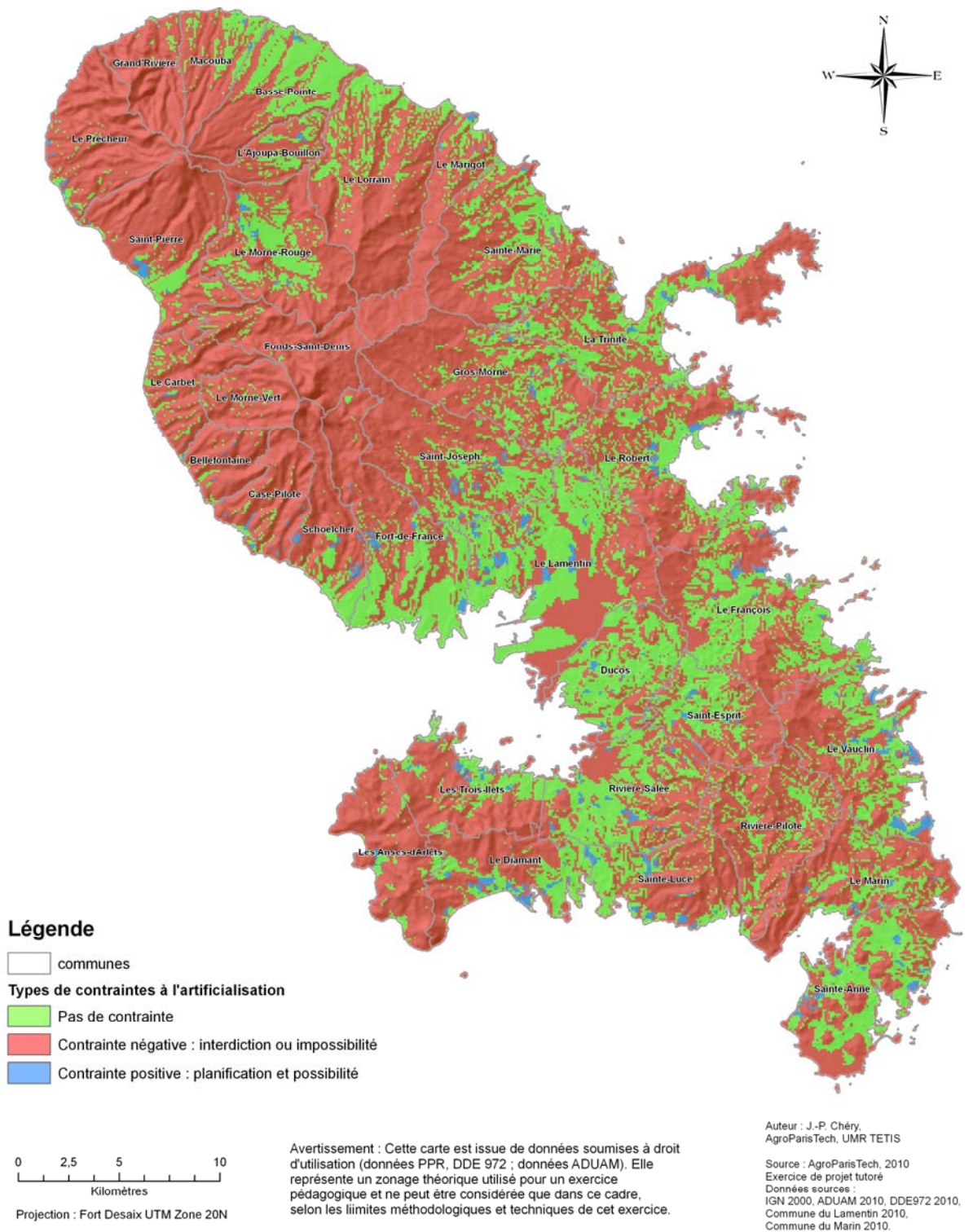


Figure 22 : Contraintes issues de l'ensemble des zonages de pentes, PPR et POS et PLU e la Martinique

## 5.2 Les règles de transition

Comme signalé dans l'étape d'analyse des changements d'occupation du sol entre 1994 et 2000, les règles de transition sont normalement conçues pour intégrer les « préférences » de changement, observées dans la matrice de transition, considérant que les changements survenus dans une période passée proche relèvent des mêmes logiques que ceux qui adviennent ensuite, dans le proche futur, toute chose égale par ailleurs, selon les hypothèses fondamentales d'un modèle de simulation.

En annexe 3 sont présentées les 18 règles utilisées dans le modèle appliqué sur la Martinique. Ces règles sont décrites dans le langage de Spacelle, d'après les principes présentés dans le paragraphe 4.2.2 (le comportement cellulaire) et traduites dans le langage courant (Crotet, 2007).

Ces règles avaient donc été établies dans le cadre d'un projet de simulation des changements d'occupation du sol dans le territoire du Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), regroupant la Communauté d'Agglomération du Bassin de Thau (CABT), avec Sète, et la Communauté de Communes du Nord du Bassin de Thau (CCNBT), autour de Mèze. Dans le cadre de la définition du Schéma de Cohérence Territoriale du Bassin de Thau, correspondant au territoire de ce Syndicat mixte, les volets Diagnostic et Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) de ce SCOT ont évidemment abordé la question de l'urbanisation de ce territoire. C'est dans ce cadre qu'une simulation de l'évolution du bâti à l'horizon 2020 a été établie avec le logiciel Spacelle (SMBT, 2009).

Les règles de transition indiquent quels types d'états sont susceptibles de céder la place à d'autres états à chaque pas de temps, selon les conditions qu'elles incluent. Cela définit le « moteur » de l'automate cellulaire : des états sont consommés tandis que d'autres sont consommateurs. D'autres états enfin restent fixes durant la simulation, et sont ainsi des contraintes pour les deux groupes précédents.

La littérature portant sur la modélisation par automate cellulaire pour les changements d'occupation du sol distingue ces trois groupes. Dans le logiciel de simulation *Metronamica* (Lajoie et al., 2007), développé par la société néerlandaise RIKS, ces types sont désignés ainsi :

- *Vacant* : Les états qui connaissent un changement comme résultat des autres dynamiques d'utilisation du sol ;
- *Functions* : les classes d'utilisation du sol qui sont modélisées comme actives ;
- *Features* : les classes d'utilisation du sol qui ne sont pas supposées changer durant la simulation.

La figure suivante (Figure 23) indique cette distinction entre états d'espaces consommables (*vacants*), à savoir les espaces agricoles et naturels, généralement considérés par la planification d'urbanisme comme le réservoir d'espace à exploiter, les états consommateurs d'espaces (*Functions*), qui sont les types d'espaces qui traduisent une artificialisation des espaces agricoles et naturels pour répondre au besoin de la société en termes d'aménagements et d'équipement divers (l'habitat et les zones d'emploi particulièrement), et enfin les états fixes (*Features*) que la modélisation, par simplification, ne prend pas en compte comme états susceptibles de changer. Pour ces derniers états, on peut facilement considérer que les surfaces en eau sont *a priori* relativement stables (étendues naturelles, réservoirs de retenues et barrages), tout comme les centres historiques des villes et bourgs principaux où se concentrent les services rares et qui indiquent les centres de pôles d'emploi. Les trois autres états intégrés dans ce groupe peuvent être discutés : le port principal – celui de Fort-de-France – peut être aménagé et agrandi sur une période de 25 années. Les activités isolées, sources de nuisances pour l'habitat proche (aéroport, zones d'extractions ou carrières à ciel ouvert, déchetteries ou stations d'épuration), évoluent

dans le temps selon les programmes d'aménagement. Il est difficile d'intégrer dans un modèle de simulation les déterminants de localisation de tels équipements sinon en introduisant leur planification sur la base d'une information disponible. Le modèle simplifie donc ici la réalité en considérant ces infrastructures comme stables dans le temps. Enfin, les équipements publics de services (des secteurs de la sécurité, de l'éducation, des soins et des loisirs) sont également liés à des possibilités budgétaires, des conditions très locales de disponibilités du foncier et rendent ardue la prise en compte de leurs logiques d'implantation dans un modèle comme celui développé ici pour le cas de la Martinique. La figure représente les relations par des flèches d'épaisseur proportionnelle au nombre de règles associées.

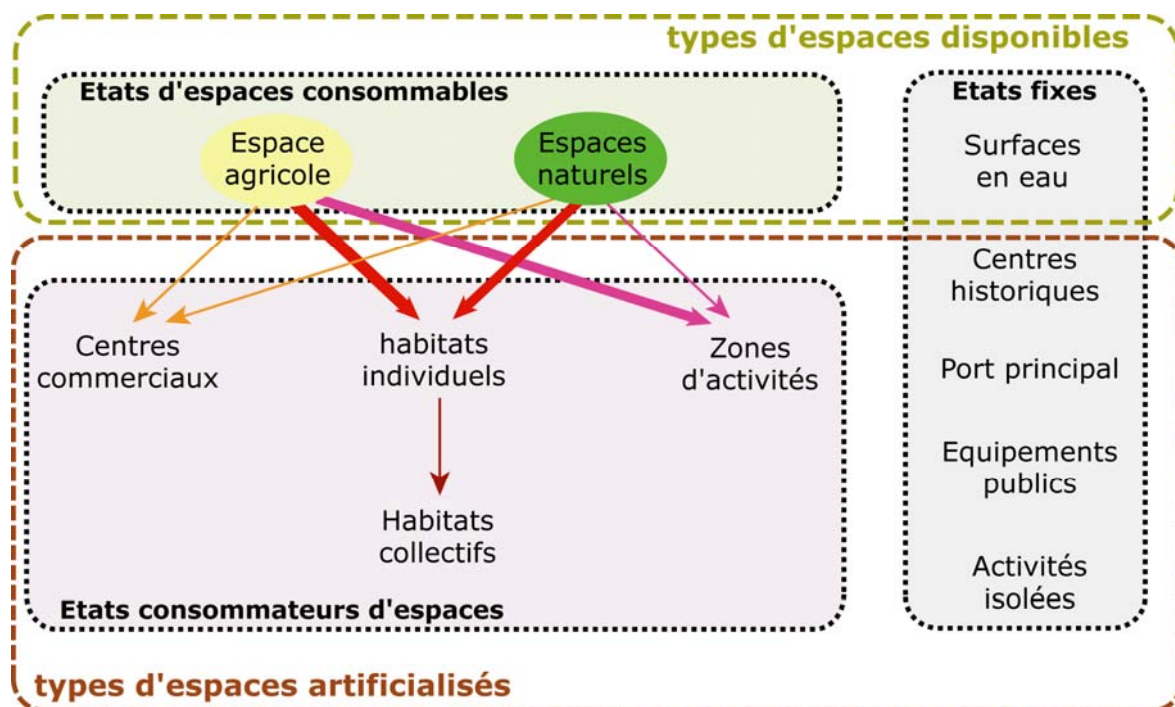


Figure 23 : Les relations entre états d'occupation du sol définis par les 18 règles de transition dans le modèle de la Martinique, sous Spacelle

Les états du modèles sont donc génériques et adaptables à beaucoup de territoires : zones bâties d'habitats, de services, de production, zones agricoles et naturelles sont potentiellement présentes partout. Ce sont surtout les définitions des distances d'influence, les combinaisons d'influences et des contraintes au sein des règles qui jouent dans le degré d'adaptation d'un territoire vers un autre. Le territoire de Thau a connu durant la deuxième moitié du XXème siècle une grande expansion urbaine qui s'est accélérée. En cela, ce territoire et le territoire martiniquais se ressemblent. Un modèle élaboré pour un territoire en forte déprise générale (très faible étalement urbain, forte augmentation des logements vacants), comme dans certaines régions rurales européennes, ne conviendrait évidemment pas pour être appliqué à un territoire à la dynamique très différente. On peut estimer ainsi que l'application des règles établies pour le cas du Bassin de Thau peut fournir simplement des tendances convenables des espaces qui devraient être *a priori* affectés en premier lieu par l'étalement urbain en Martinique. L'ampleur de cet étalement à l'horizon 2025 est en revanche plus difficile à considérer par ce transfert de Thau vers la Martinique.

## 5.3 Le modèle de base et sa validation

### 5.3.1 Le modèle de base

Les différentes couches d'information géographique traitées pour fournir les couches d'état du modèle dans Spacelle sont mises en format texte « Ascii ». Les couches de

surfaces (occupation du sol et contraintes) sont des couches de type raster, et fournissent des fichiers « Ascii » contenant autant de lignes que les couches raster en ont, et autant d'espaces entre les valeurs des états qu'il y a de colonnes dans ces couches raster. La Martinique s'étend sur 54 km du nord au sud et sur 45,6 km d'est en ouest. Les couches de cellules dans Spacelle ont alors une étendue de 540 lignes et 456 colonnes pour une maille de 100mx100m. L'automate cellulaire intègre ainsi 246.240 cellules. Seules 108.619 cellules ont une valeur d'état effectif et correspondent à autant d'hectares de la surface de l'île, soit 1086,19 km<sup>2</sup>. Le reste des cellules est codé en « NoData » (valeur 255) et correspond à la surface maritime.

Une cellule se voit ainsi attribuer une combinaison de 2 à 4 états possibles à un instant t : 2 états issus de couches cellulaires des contraintes et de l'occupation du sol (par exemple, un état de « non contrainte » et un état d' « espace agricole ») et, selon le cas, 1 voire 2 états issus des deux couches vectorielles de lignes et de points. La cellule déclarée sans contrainte et en espace agricole peut se voir traversée par une route principale ou par une voie rapide et, de plus, avoir un échangeur. Son voisinage est alors affecté par les différents états concomitants de cette cellule, ce qui est pris en compte dans les différentes règles de transition.

Avec ces couches d'états (Figure 24) et la base de règles comportant 7 règles de durées de vie et 18 règles de transition (Figure 25), le modèle peut alors être utilisé pour calculer les changements pour chaque pas de temps et pour la durée de la simulation choisie.

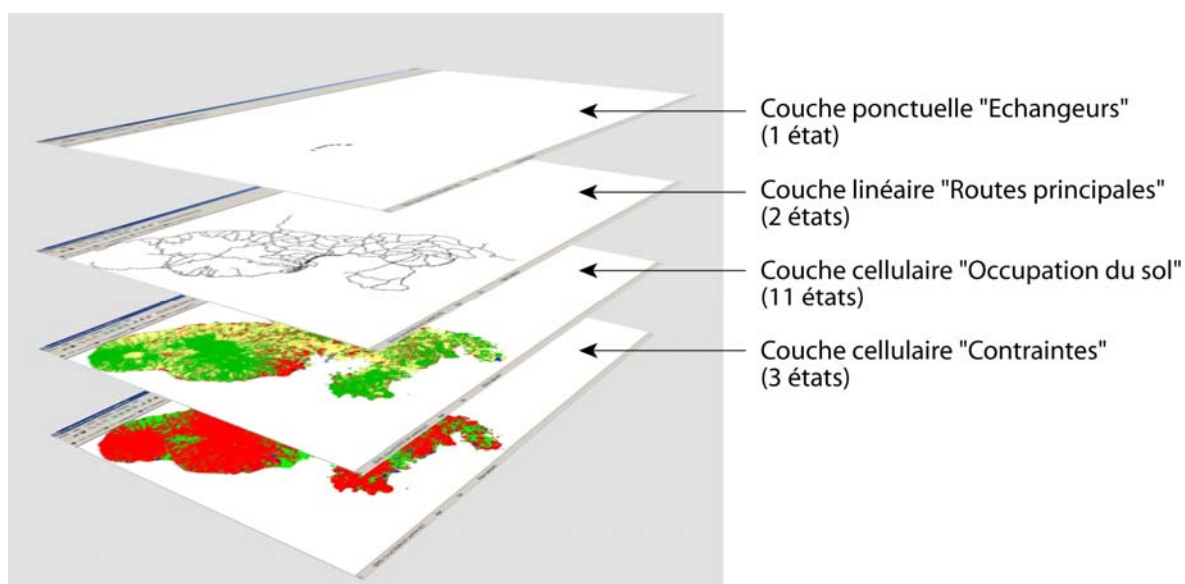


Figure 24 : Les quatre couches intégrées dans Spacelle, définissant 17 états différents

Le logiciel est caractérisé par une grande lenteur de calcul quand le nombre de cellules, de couches, d'états, de règles et – surtout – de termes inclus dans chaque règle est élevé. Dans le cas du modèle appliqué à la Martinique, un pas de temps nécessite environ 45 mn de calcul avec un ordinateur aux capacités de traitement standard<sup>26</sup>. Pour une simulation sur 25 années, il faut donc compter près de 19 heures... On rappellera que ce coût en temps est absolument négligeable quand on considère que l'outil logiciel utilisé a été développé par une seule personne qui le met gracieusement à disposition pour la communauté scientifique.

<sup>26</sup> Ordinateur avec Windows XP, Processeur Intel ® Core ™ 2 Duo CPU, cadencé à 2,6 GHz et une RAM de 3,5 Go.

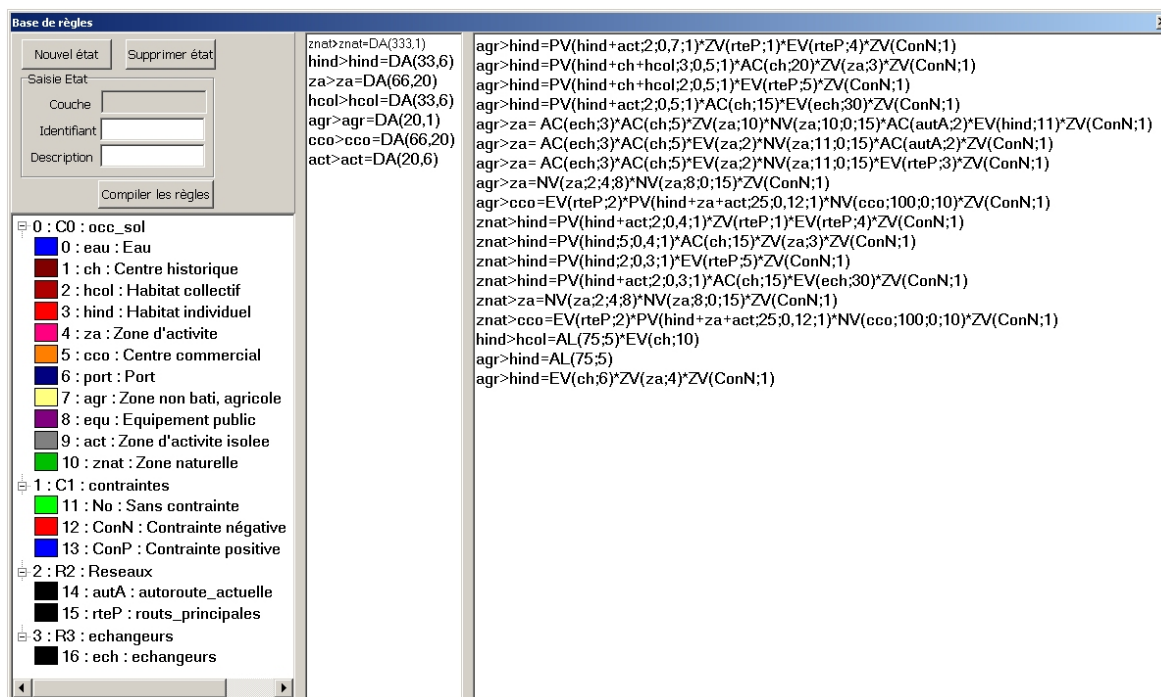


Figure 25 : La base de règles de Spacelle pour le modèle de la Martinique

En revanche, le coût en temps de calcul rend la phase de validation du modèle absolument cruciale dès l'étape initiale des simulations : il est difficile d'adopter une démarche d'itérations successives de modifications et d'ajustements avec de tels délais, simplement pour des raisons d'adéquation entre le temps du raisonnement humain et le délai pour agir en conséquence. Ce point explique en grande partie pourquoi l'exercice pédagogique à la base de ce travail ne porte pas sur la modification des règles de transition, qui constitue l'élément le plus important pour la phase de calibration et de validation. D'un point de vue générique, le modèle appliqué au Bassin de Thau constitue la phase de calibration de ces règles. Il s'agit donc de valider ce modèle pour son application sur la Martinique, afin de pouvoir ensuite lancer une simulation sur 25 années (période 2000-2025) et faire des scénarios différenciés d'évolution.

### 5.3.2 Pour valider le modèle de base : comparer le simulé et l'observé en l'an 2000

La méthode la plus répandue pour engager une phase de validation d'un modèle de simulation numérique est de lancer une simulation sur une période dont on possède des données, des mesures pour les états initiaux et terminaux. Ainsi, pour une validation simple, le modèle de base est utilisé avec les données de la Martinique pour 1994 à la date initiale et une simulation sur 6 années permet d'obtenir un état pour 2000 à comparer avec la situation connue à cette date. Les résultats cartographiés permettent de comparer les similitudes ou différences entre le simulé et l'observé et d'évaluer la capacité de reproduction du modèle. Cette phase constitue en fait la phase la plus sensible d'une démarche de simulation : le problème majeur qui se pose à ce niveau est celui de l'équifinalité. Différentes situations initiales peuvent, dans une même période, et avec les mêmes fonctions, aboutir à une seule et unique situation finale. Cette remarque souligne le caractère non linéaire des systèmes complexes et des causalités dans les dynamiques de changement.

Pour les modèles spatiaux, la comparaison d'une situation finale simulée avec la situation finale connue n'est pas aisée : comparer deux cartes à l'œil nu est à la fois subjectif et hasardeux. Face à ces difficultés, il existe des méthodes de mesure de similarité de formes et de dispositions spatiales. Pour ce type d'évaluation, des

mesures d'analyse spatiales existent et un logiciel permet de faire des comparaisons de situations entre deux cartes : le logiciel MCK (*Map Comparison Kit*<sup>27</sup>, développé et mis à disposition en ligne par RIKS). L'indice calculé, qui mesure la différence de composition et de répartition des catégories d'occupation du sol entre deux dates pour un même territoire, est l'indice Kappa. Cet indice varie de 0 à 1. Plus l'indice Kappa est proche de 1, plus les deux cartes comparées se ressemblent, tant du point de vue de la variété des états que de leur disposition spatiale (regroupée, dispersée, etc.).

La comparaison des résultats simulés pour 2000 depuis 1994 et ceux connus en 2000 donne, pour la Martinique, un indice de Kappa de 0,799. Les deux situations d'occupation du sol en 2000 se ressemblent à près de 80%. On peut considérer qu'avec l'utilisation de règles de transitions établie dans un contexte géographique *a priori* très différent (une côte méditerranéenne), ce résultat est positif. C'est d'ailleurs un résultat qui permet d'engager des réflexions plus générales sur la ressemblance ou la dissemblance de territoires insulaires tropicaux avec d'autres territoires.

Le modèle d'évolution de l'occupation du sol pour la Martinique peut alors être utilisé pour des simulations qui invitent à explorer le proche avenir, afin d'aider à en inventer des directions qui seraient considérées comme plus bénéfiques à long terme pour son territoire.

---

<sup>27</sup> [www.riks.nl/mck/](http://www.riks.nl/mck/)



**Troisième partie**  
**Résultats cartographiques : intérêt de**  
**spatialiser les possibles**



Dans le temps disponible pour l'exercice pédagogique, l'élaboration de scénarios différenciés ne pouvait pas prendre l'importance d'une véritable démarche prospective, constituée de méthodes d'élaboration de scénarios pour lesquelles un travail particulier est nécessaire. Dans le cadre de l'exercice, seuls deux scénarios ont été retenus : un scénario « au fil de l'eau », qui exprime l'évolution tendancielle du système territorial modélisé sur la base de la tendance déjà reconnue sur la période passée proche, et un scénario « d'aménagement routier » qui intègre la mise en service de tronçons de voies rapides sur le territoire de la Martinique, à l'horizon 2015.

D'autres scénarios sont évidemment envisageables. On pourrait explorer des choix différenciés au travers de l'analyse des schémas de cohérence territoriale (SCoT) pour les différentes intercommunalités (Figure 36, Annexe 3). Ces scénarios interviendraient principalement au regard de l'information introduite dans le modèle pour les plans d'urbanisme.

## 6 Des scénarios pour comprendre les gradients d'évolution

---

### 6.1 Des scénarios de contraste de l'accessibilité

Les simulations visant à différencier l'évolution du territoire à partir de 2015, jusqu'en 2025 constituent ainsi une évaluation de l'impact de l'infrastructure routière sur l'évolution du bâti dans l'île : les changements d'accessibilités influent sur les positions relatives des lieux et sur les probabilités que tel ou tel lieu connaisse un changement d'occupation du sol plutôt qu'un autre.

L'automate cellulaire prend donc en considération une évolution des couches des routes et des échangeurs associés à la date de 2015, pour le scénario d'aménagement routier. C'est un scénario qui se veut l'écho des grands enjeux et aménagements qui concernent l'île de la Martinique, marquée par des problèmes de mobilités et d'accessibilité sur le pôle foyalais. Trois axes constituent les éléments qui structurent l'engorgement routier de l'île (Pelis et al., 2007) : la RN1 (qui relie le Lamentin à Basse-Pointe), la RN2 (entre Schœlcher et Saint-Pierre) et la RN5 (de l'aéroport Aimé Césaire, au Lamentin, jusqu'au Marin). La congestion de la voirie automobile a amené dans l'agenda de l'aménagement régional des projets importants, dont celui du Transport en Commun en Site Propre (TCSP), reliant le cœur de Fort-de-France au Lamentin, tronçon qui connaît déjà un équipement de voie rapide (l'autoroute A1).

Les mises en deux fois deux voies des deux axes routiers de la RN1 et de la RN5 sont des opérations qui s'étalent sur le temps long (le caractère insulaire et le relief de la Martinique n'offrant pas de déviation aisée pour le trafic, gêné par les travaux d'aménagement). Les aménagements se font ainsi par tronçons relativement courts afin d'assurer une circulation acceptable, avec l'établissement de giratoires, durant toute la première décennie du XXIème siècle. Pour le RN5, on a par exemple un aménagement de type alterné : une double-voie dans un sens et une voie unique dans l'autre, entre Ducos et Rivière-Salée, et au-delà, jusqu'à Sainte-Luce. Pour la RN1, ce principe peut être observé jusqu'au Robert. Par ailleurs, l'effort de contournement des centres des bourgs a été un élément important pour l'amélioration de la mobilité.

Les scénarios simplifient l'évolution des aménagements routiers en fixant à 2015 la mise en service totale des tronçons qui relient le Lamentin aux espaces de l'est et du sud (Figure 26).

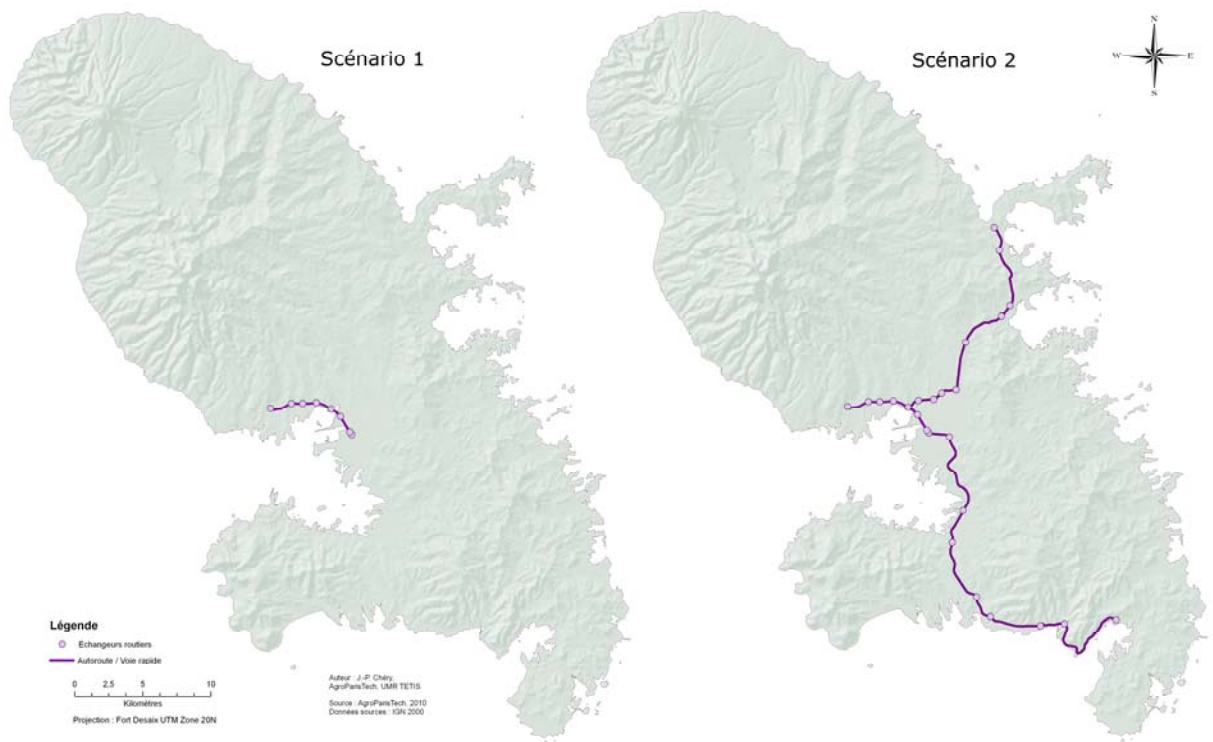


Figure 26 : La différence entre les deux scénarios pour les états « autoroute » et « échangeur » à partir de 2015

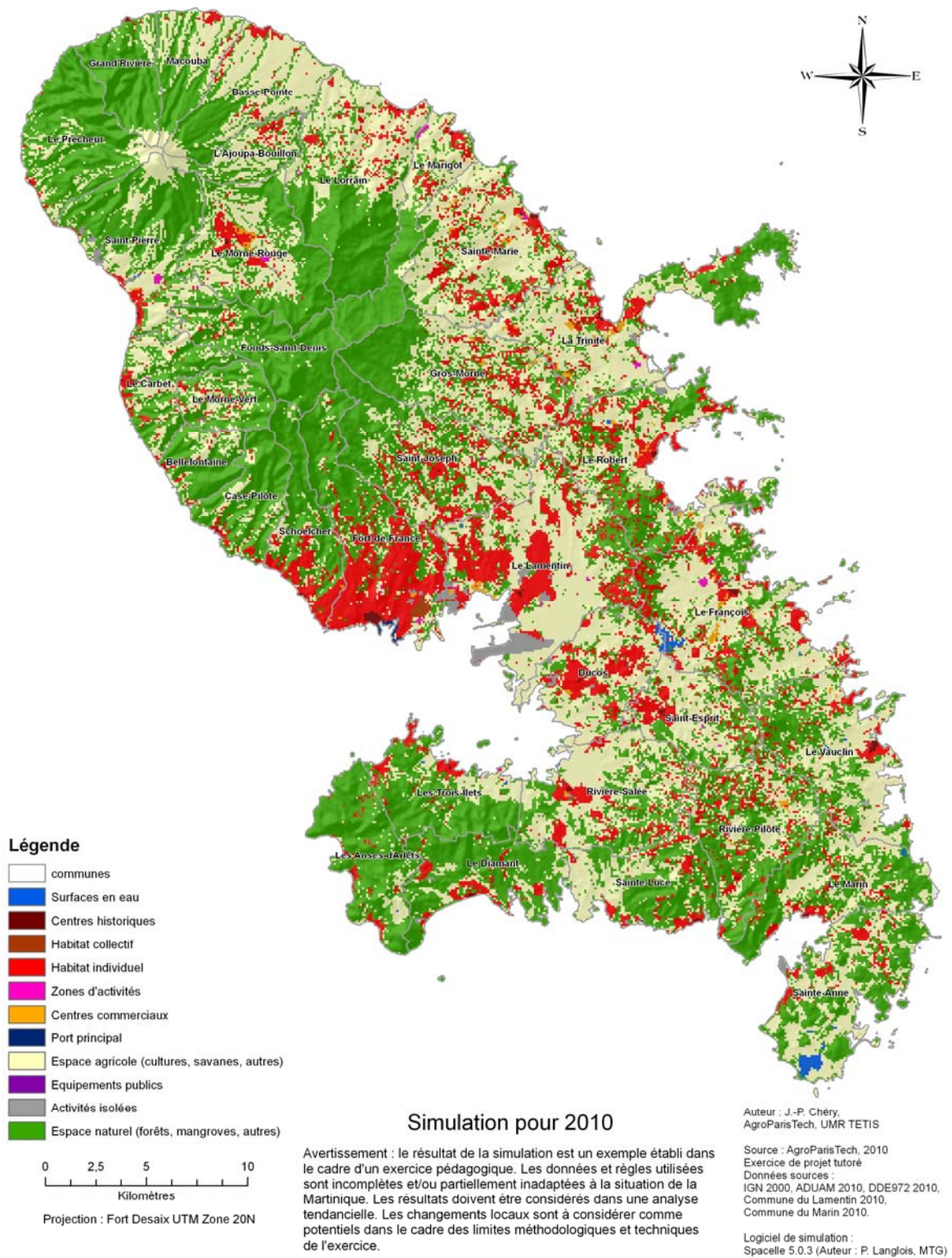
Le logiciel Spacelle permet, grâce à des fonctions événementielles, d'activer une configuration d'états (ici de nouveaux tracés autoroutiers et de nouvelles positions d'échangeurs). La différence entre les deux scénarios s'accroît *a priori* à partir de 2015 pour offrir des représentations cartographiques pour 2025 susceptibles d'être comparées afin de localiser les changements.

## 6.2 Les cartes des résultats des simulations

A partir de l'an 2000, les simulations sont effectuées, et diverses cartes sont obtenues :

- l'occupation du sol en 2010, avec les infrastructures routières existant en 2000 et qui n'ont pas évoluées (Figure 27) ;
- l'occupation du sol en 2025, avec les infrastructures routières existant en 2000 et qui n'ont pas évoluées (Figure 28), résultat du scénario 1 ;
- l'occupation du sol en 2025, avec les infrastructures routières modifiées à partir de 2015 (Figure 29), résultat du scénario 2 ;

Ces cartes sont établies sans la représentation des réseaux routiers afin de mieux distinguer les variations spatiales des surfaces d'occupation du sol, en particulier celles concernant l'habitat individuel, classe la plus affectée par ces variations.



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Figure 27 : Occupation du sol en Martinique, simulation pour 2010

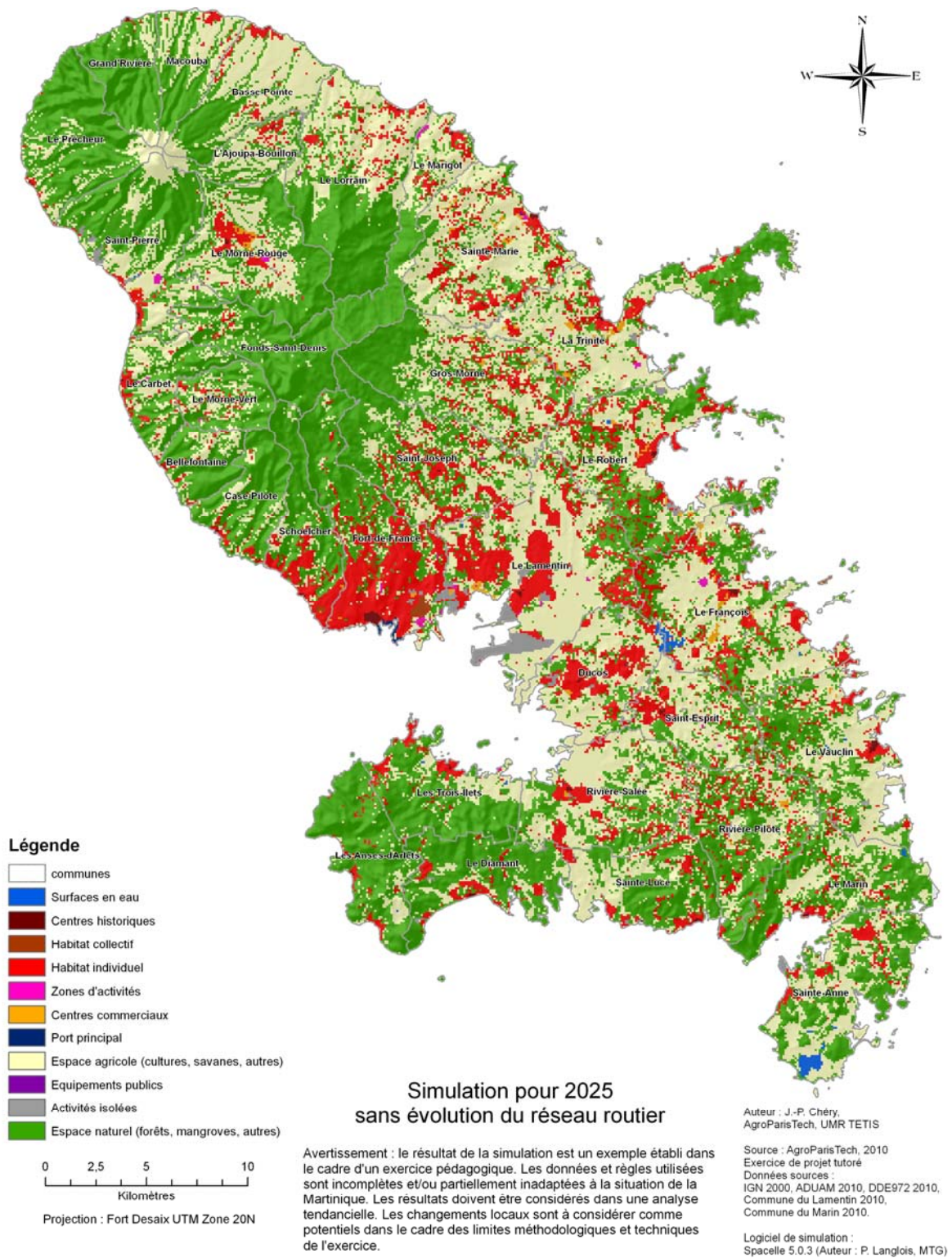


Figure 28 : Occupation du sol en Martinique, simulation pour 2025, sans évolution du réseau routier

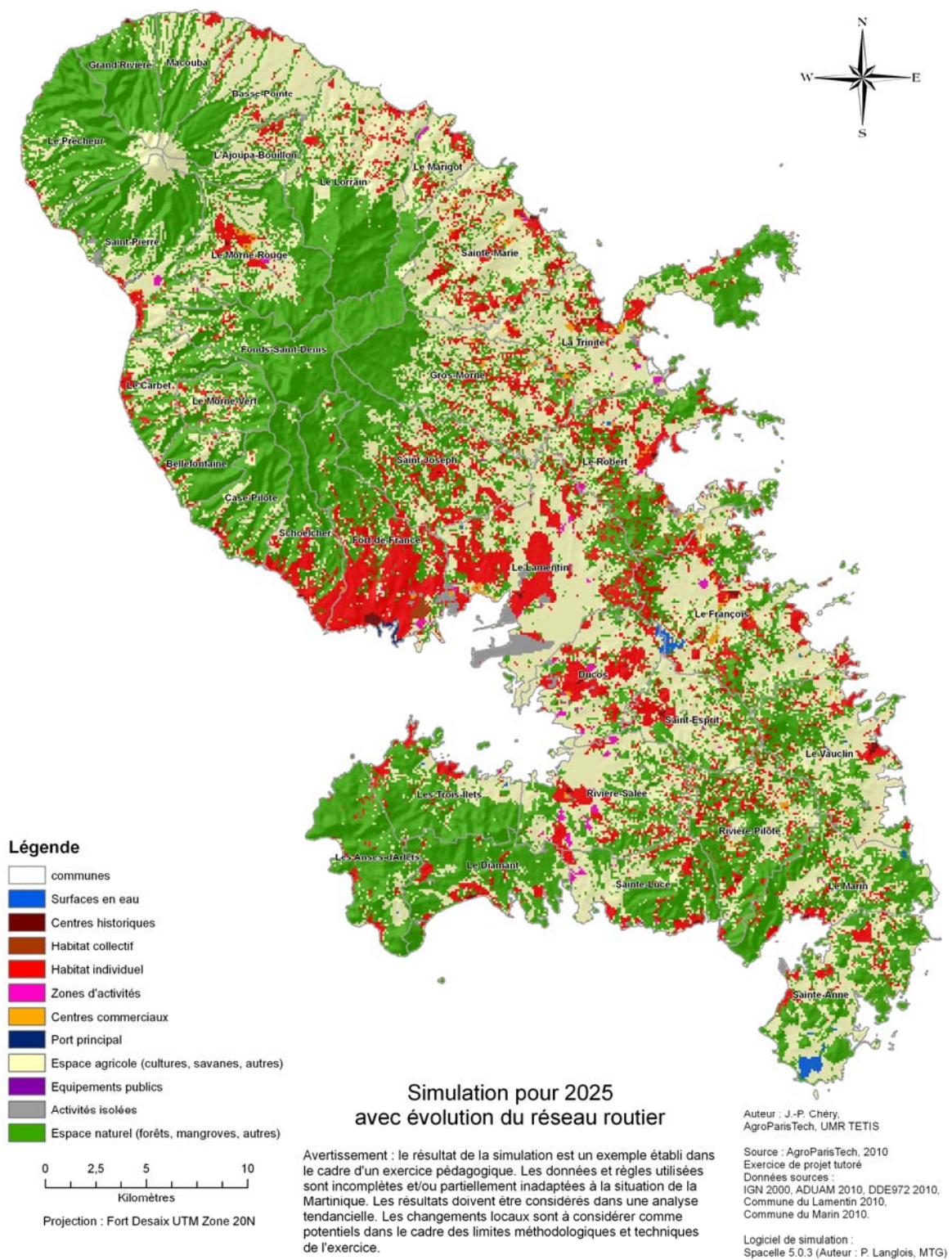


Figure 29 : Occupation du sol en Martinique, simulation pour 2025, avec évolution du réseau routier

## 7 interprétation des résultats des simulations

---

Les différentes cartes obtenues, depuis 2000 jusqu'en 2025 et dont les figures précédentes illustrent les dates 2010 et 2025 permettent de faire des analyses dans deux directions différentes :

- d'une part, une analyse de type temporelle afin de repérer les changements d'occupation des sols entre la date initiale et la date finale, pour chacun des scénarios.
- D'autre part, une analyse de type spatiale ou spatio-temporelle, qui permet de repérer les changements d'occupation des sols à la même date entre les deux scénarios, et ceci à différentes dates à partir de l'année charnière de 2015, qui voit la « bifurcation » dans l'équipement routier.

Le logiciel Spacelle traite les simulations pas à pas, considérant – d'après la formulation des règles de transition – que chaque pas de temps équivaut à une année. C'est donc un ensemble de 36 situations annuelles produites : 14 années, entre 2001 et 2014 qui constituent la succession des occupations du sol de la Martinique commune aux deux scénarios, et deux séries de 11 années (entre 2015 et 2025) illustrant les deux « futurs possibles » selon la situation des équipements routiers<sup>28</sup>.

### 7.1 Interprétation par comparaison temporelle : l'évolution comme trajectoire

Dans cette étape, l'analyse porte successivement sur les changements d'occupation du sol entre 2000 et 2025, sans évolution du réseau routier et avec l'évolution à partir de 2015. Ces changements montrent par ailleurs un problème dans la simulation du type « centres commerciaux ». Ce dernier point est donc abordé en fin du chapitre.

#### 7.1.1 Les changements d'occupation du sol entre 2000 et 2025, sans évolution du réseau routier

La carte d'évolution des types d'occupation du sol principalement affectés par une extension (Figure 30) permet de repérer les zones concernées. L'habitat individuel et les zones d'activités sont les classes dont les évolutions sont significatives. Ainsi, en analysant l'évolution en regroupant les résultats annuels par périodes de 5 ans, la simulation met en évidence les deux principes en action dans le phénomène de l'étalement urbain, déjà décrit par une croissance sous la forme d'extensions en nappe, de proche en proche, et par une croissance par apparitions d'îlots (cf. page 26 et suivantes).

Premier élément d'analyse : la simulation indique une forte croissance dès la première période (2005), sur des espaces disponibles à l'urbanisation par le jeu des contraintes (positives), des colocalisations et des accessibilités. Les évolutions suivantes pour les étapes jusqu'en 2010, puis 2015, 2020 et 2025 sont moins importantes en surface, parce qu'*a priori*, les espaces disponibles se restreignent au fil du temps : la capacité spatiale se réduit évidemment par son remplissage. Considérant l'état de la Martinique en 2010 (date de réalisation de ce travail pédagogique), on peut établir que le modèle propose une croissance trop rapide, par les règles de transition utilisées. Pourtant, l'interprétation ne doit pas buter sur cette difficulté, qui peut être considérée comme un manque de vraisemblance.

---

<sup>28</sup> Le temps de calcul total est alors, avec 45 mn pour un pas de temps, de 27 heures sur un seul ordinateur.

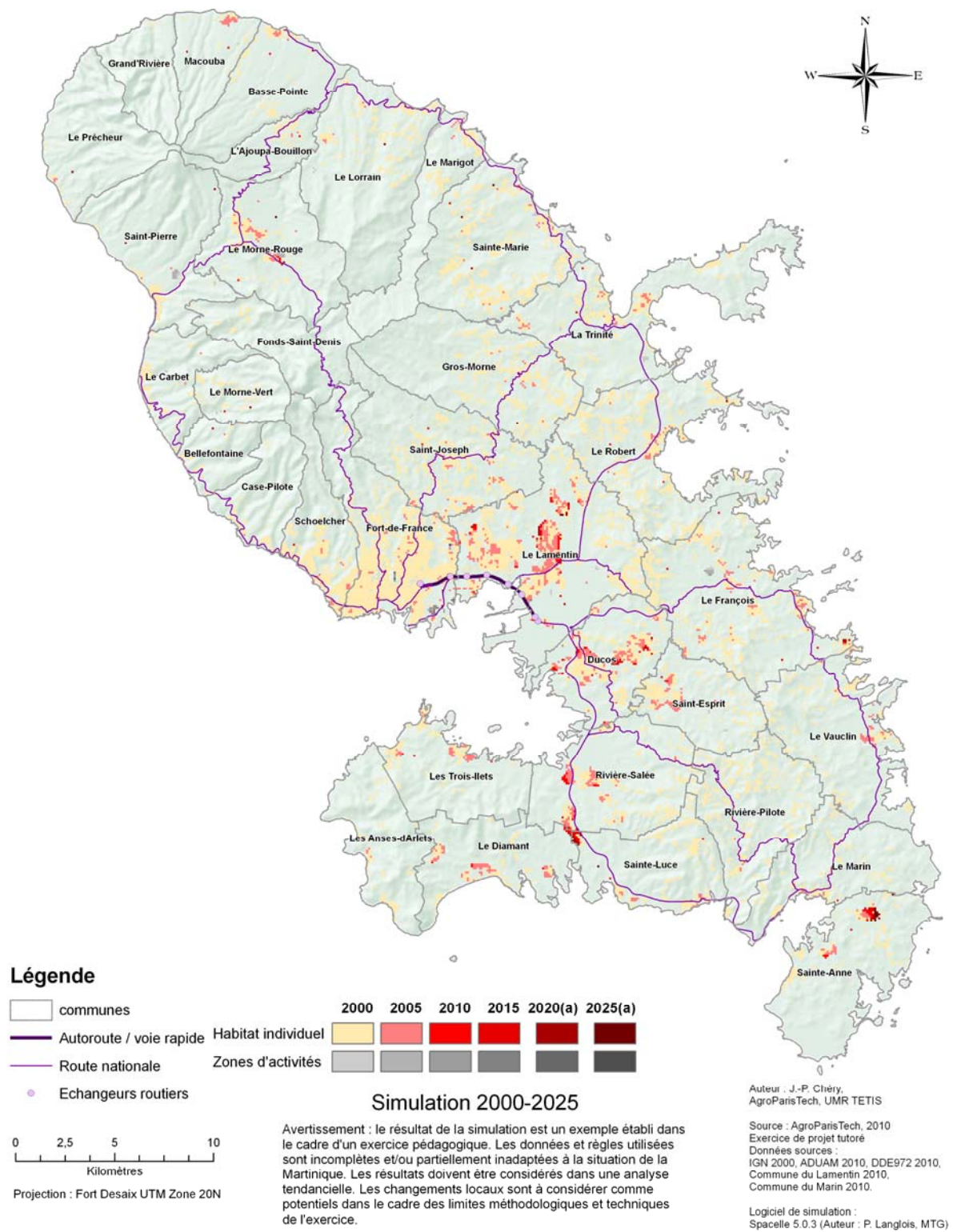


Figure 30 : Changement d'occupation du sol en Martinique - Habitat individuel et zones d'activités, simulation 2000-2025, sans évolution du réseau routier



En termes de modélisation pour une prospective, « *le Diable est dans les détails* ». Ce qui compte est la tendance sur la période entière : l'évolution temporelle indique un gradient qui suggère une progression sous la forme d'extensions par proximité.

Cela peut se dérouler en 2005 comme en 2003 ou 2008, le modèle ne peut pas « prédire » des événements à des dates précises mais bien un « comportement » que la connaissance que l'on a du système permet d'envisager.

D'un point de vue quantitatif et global pour la Martinique, le premier scénario propose sur une période de 25 années une croissance de 1.694 hectares en habitat individuel et de 77 hectares en zones d'activités (Figure 31, voir tableau de la Figure 48 en annexe 3).

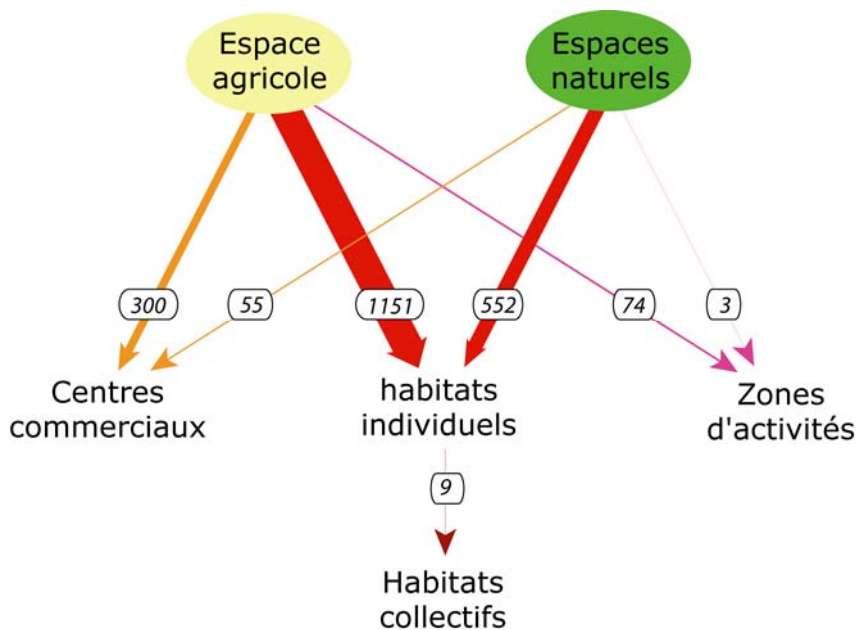


Figure 31 : Changements de surface des types d'occupation du sol (en hectares) entre 2000 et 2025, sans évolution du réseau routier

Cela représente une moyenne annuelle de croissance de près de 68 hectares en habitat individuel et de plus de 3 hectares en zones d'activités. En rapprochant ces données des évaluations d'évolution démographique à l'horizon 2025, on peut considérer la représentativité de ce type de résultat de simulation. Entre 2000 et 2025, la Martinique connaîtrait entre 34.000 et 65.000 habitants supplémentaires (INSEE, 2008), selon les scénarios démographiques de type « central », « fécondité basse » et « sans migration », avec une croissance de 41.000 habitants pour le scénario central. En retenant cette dernière valeur, on aurait alors un peu plus de 24 habitants à l'hectare sur ces nouveaux espaces urbanisés (entre 20 et 38 habitants à l'hectare en considérant la fourchette des scénarios démographiques).

En 1994, la densité de population était d'environ 35 habitants à l'hectare (types centres historiques, habitat collectif et habitat individuel associés). Pour 2000, la densité était de 33 habitants à l'hectare. La simulation propose donc un desserrement tendanciel important, exprimant bien l'étalement urbain. En 2025, en considérant les zones déjà urbanisées jusqu'en 2000, accueillant environ 383.000 habitants et celles urbanisées entre 2000 et 2025, accueillant donc environ 41.000 habitants, on obtient une moyenne de moins de 30 habitants à l'hectare. A ce niveau d'analyse, le modèle propose donc un desserrement, mais qui ralentit (trois habitants à l'hectare de moins en 25 ans contre deux habitants à l'hectare de moins en 6 ans, sur la période 1994-2000).

S'agissant des zones concernées par l'extension de l'habitat et des zones d'activités, l'analyse conduit aux remarques suivantes :

- la commune du Lamentin apparaît comme la plus marquée par la croissance spatiale urbaine, avec 430 hectares qui deviennent des zones d'habitat individuel et des zones d'activité. Cette croissance se réalise par extension sur les marges de l'espace artificialisé existant, en particulier sur les lieux-dits Bois Carré et autour de Grand Case (Jolimont, Long Bois et vers Soudon). Cette zone était, en 2000, constituée d'un habitat individuel relativement peu dense. On peut donc estimer qu'outre l'extension sur les marges apparaîtra du bâti dans les interstices de ces espaces, si le foncier le permet évidemment. Les autres zones concernées dans cette commune semblent être Durocher et Pelletier, ainsi que les espaces libres entre Jeanne d'Arc et Gondeau, et la partie nord de la Favorite. C'est donc toutes les parties de la commune qui sont concernées. Cela est cohérent avec les données de contraintes : la commune est plutôt plane ou avec de faibles pentes, et seuls les espaces à risques naturels empêchent donc l'extension du bâti. A long terme, le Lamentin pourrait sans doute frôler le nombre d'habitants de Fort-de-France, alors qu'actuellement elle en a deux fois moins. Seuls les modes de constructions moins denses, qui correspondent à un mode d'habiter généralement désiré par les individus, rendent cette perspective lointaine.
- Ducos est la commune qui connaît la deuxième croissance de l'espace martiniquais : 209 hectares, soit environ la moitié de celle du Lamentin. Là aussi, le mode de croissance apparaît marqué par une extension de proche en proche, dans la zone à risque relatif du « pays noyé », sans doute bien nommé : les bas sud des Morne Coco et Lapointe, extensions du Lazaret et de Petite Rochelle, vers Fond Brûlé. Cette zone nécessiterait des modes d'urbanisation très ciblés, avec l'absolue interdiction d'habiter les rez-de-chaussée. L'actualité des événements catastrophiques de type inondation peut rendre finalement très relative la mise en urbanisation de cette zone de Ducos. En revanche, les pentes à l'est de Fond Brûlé, vers la Beauville, au nord de Grande Savane, paraissent constituer des zones plus sûres, où l'extension est donc probable. D'après la carte topographique de l'IGN, le réseau viaire local y semble dense, ce qui est un avantage pour une croissance rapide. Au-delà, vers Morne-Vert et Bois Neuf, des extensions sont également envisageables selon la simulation. D'autres extensions plus réduites (Fond Savane, Bois Rouge, la zone industrielle de Petite Cocotte) concernent le reste du territoire de cette commune qui apparaît comme un espace d'enjeux très forts.
- Poursuivant un cheminement vers le sud, en relation avec l'axe de la RN5, la commune de Rivière-Salée se voit proposer une croissance de plus de 200 hectares en urbanisation, sur 25 ans. Deux zones de croissance apparaissent. La première se situe de part et d'autre du bourg de Rivière-Salée : à l'ouest de la RN5, au niveau de l'échangeur avec la D7, en direction des Trois-Ilets (à l'ouest du Ravin Médecin, vers Maupéou) et à l'est du bourg, vers Cité Trenelle et au sud de la D8, à la sortie du bourg. La deuxième zone se place entre les quartiers Médecin et Guimbé et la RN5, profitant de l'échangeur établi à la limite de la commune et de celle de Sainte-Luce, qui établit la connexion avec la deuxième extrémité de la D7, provenant des Anses-d'Arlets par le Diamant. Les lieux-dits de Thoraille et Belvédère constituent les autres espaces affectés dans la simulation.
- Les communes du François, du Diamant, de Sainte-Anne, de Saint-Esprit dans la moitié sud de l'île et le Morne-Rouge au nord, connaissent des extensions que la simulation propose toujours comme des extensions des bourgs existants. Le François, avec ses nombreux centres habités, présente pourtant des extensions éparpillées sur son territoire (autour du bourg principal, à Dostaly, entre Beauregard et le Bois Soldat, à Chopotte, Saint-Laurent, et la Dumaine ainsi que, tardivement, à la Prairie). Les autres communes proposent des agrandissements des zones urbanisées de manière plus ramassée : le

plateau entre Petits Lézards et Jacqua ainsi qu'à l'ouest de la Taupinière, et au Morne Blanc, dans la commune du Diamant ; Une forte extension régulière sur 500 m à l'est de la Barrière la Croix à Sainte-Anne, avec par ailleurs une extension à Mondésir ; les bordures du bourg de Saint-Esprit (la Carreau, l'Avenir et l'ouest de Solitude) ; enfin, la commune du Morne-Rouge, en altitude entre le sommet de la Montagne Pelée et les Pitons des Carbets offre des zones relativement planes, sur la bordure nord-est de Fond Rose et à l'est de Fond Marie-Reine, vers l'Hôpital Champflore. L'ensemble des surfaces concernées par les résultats de la simulation pour ces communes représente près de 400 hectares (à peine les surfaces impliquées au Lamentin).

- Un groupe nombreux de communes illustre des extensions plus spécifiques, plus localisées, pour des surfaces équivalent en tout à 370 hectares : Saint-Joseph, Sainte-Luce, les Trois-Ilets, le Vauclin, Schœlcher, la Trinité, le Robert, Macouba et Sainte-Marie (par ordre décroissant des surfaces concernées). Bien que des regroupements par types soient difficiles, on peut constater que Saint-Joseph, Sainte-Luce, Schœlcher, la Trinité et Sainte-Marie connaissent des extensions plutôt dispersées : ce sont des communes caractérisées par de fortes variations topographiques, où les pentes sont parfois vives et les espaces propices à l'extension urbaine compartimentés. Deux de ces communes sont voisines de Fort-de-France (Schœlcher et Saint-Joseph) mais ne semblent pas présenter de ressources spatiales assez importantes pour accueillir des extensions que leur proximité relative au cœur urbain de l'île pourrait laisser envisager. Les autres communes (les Trois-Ilets, le Vauclin, le Robert et Macouba) présentent des extensions plus ramassées, généralement au voisinage du bourg principal. Le modèle par automate cellulaire montre ici certaines de ses limites, par sa difficile prise en compte des poids de population locales et des croissances spatiales associées attendues comme proportionnelles : alors que le Robert est la troisième commune la plus peuplée de Martinique, avec plus de 24.000 habitants en 2006, la croissance spatiale simulée de ses espaces urbanisés est proportionnellement plus faible qu'à Macouba, peuplée de moins de 1.300 habitants à la même date, mais qui présente une extension proposée au sud du bourg, sur les pentes douces des bananeraies (aux sols potentiellement très marqués par le chlordécone). Ces résultats sont bien l'expression d'une potentialité, toute chose égale par ailleurs, établie sur la base des informations intégrées dans le modèle. La démographie communale et les risques sanitaires constituent donc des types d'information qui constituent des pistes d'amélioration pour une meilleure simulation.
- Les communes qui présentent le moins de variation du fait des extensions de l'habitat individuel et des zones d'activités sont le Gros-Morne, Saint-Pierre, le Marin, Basse-Pointe, le Marigot, le Lorrain, Case-Pilote, les Anses-d'Arlets, Rivière-Pilote, l'Ajoupa-Bouillon, le Prêcheur, le Morne-Vert, le Carbet et Bellefontaine, toujours par ordre décroissant des évolutions simulées. Elles rassemblent un peu plus de 100 hectares de croissance spatiale. La combinaison de reliefs assez forts, aux pentes importantes, des surfaces importantes concernant les risques naturels ou impropres aux extensions urbaines (zones naturelles protégées), et l'enclavement relatif explique ces résultats. Causes et conséquences se rejoignent dans un système de rétroactions : territoires moins connectés à l'ensemble du territoire, ils accueillent moins d'habitants, ce qui établit des dynamiques, en termes de quantités brutes, moins importantes. Ces secteurs n'apparaissent alors pas immédiatement prioritaires dans les arbitrages qui confrontent logiques budgétaires et équité spatiale. Pourtant, ces communes accueillent ensemble plus de 70.000 habitants. Certaines sont très peuplées pourtant, telles Rivière-Pilote et Gros-Morne, mais leur habitat est dispersé ou enclavé, ce qui rend difficile une expression de croissance dans le modèle de simulation.
- Fonds-Saint-Denis et Grand'Rivière apparaissent dans la simulation sans extensions du bâti d'habitat individuel et de zones d'activités. Ce sont les deux

communes les moins peuplées de l'île (respectivement 873 et 751 habitants en 2008), et qui sont marquées par une diminution de leur population. On trouve donc une cohérence entre la stagnation des zones bâties et cette évolution démographique de communes très isolées.

Dans cette analyse, une commune manque à l'appel : Fort-de-France. La commune la plus peuplée de l'île présente une faible croissance spatiale de ses zones d'habitat et de zones d'activité. Cette commune arrive à saturation : peu d'espaces fonciers semblent disponibles pour assurer une part de la croissance urbaine demandée par les perspectives de croissance démographique. Les seules extensions notables – et possibles – sur son territoire semblent se localiser entre la Meynard et Jambette, à l'ouest de la rivière de la Jambette, où une densification qui devrait alors se conjuguer avec le Centre hospitalier Pierre Zobda-Quitman, un groupe scolaire et un cimetière. On peut donc plutôt s'attendre à une extension des équipements de services liés aux soins, associés à la proximité du Centre hospitalier.

Ces descriptions d'éléments d'évolution simulée à l'horizon 2025 doivent être confrontées au domaine des possibilités que peut offrir le modèle utilisé. En effet, ces localisations diverses de changement n'ont de sens, en termes d'évaluation de la modélisation, qu'en rapport au champ des possibles que le territoire de la Martinique peut offrir à cette évolution. L'automate cellulaire piloté par le logiciel Spacelle marque ces changements selon les fonctions de transition. Celles-ci intègrent des conditions de distance, de présence ou d'absence dans tel ou tel périmètre de différents états. Une estimation de l'espace disponible pour les changements peut être faite sur la base des états qui sont consommables (espaces agricoles et naturels) et des états d'absence de contraintes ou de contrainte positive qui permettent *a priori* l'urbanisation. Sur la base de ces espaces disponibles en 2000 pour la période des 25 années suivantes, les facteurs des distances aux zones déjà urbanisées et du réseau routier principal apparaissent structurants.

En 2000, on constate que 25.425 hectares sont disponibles à l'urbanisation sur l'ensemble de la Martinique (espaces agricoles et naturels qui ne présentent pas de contraintes négative pour l'urbanisation). En 2025, avec le scénario 1, sans évolution du réseau routier, la simulation indique 1.862 hectares consommés (par l'habitat individuel et les zones d'activités), soit 7,3% de cet espace disponible en 2000.

Cette analyse plus fine mérite d'être développée et appelle à des travaux ultérieurs, avec des apports de la démarche multicritères appliquée à l'information géographique. Une proposition d'une typologie des espaces potentiels d'urbanisation est faite sur la base des informations des distances au bâti existant en 2000 et des distances au réseau routier principal (Figure 53, Figure 54 et Figure 55 en annexe). En pondérant différemment le rôle de la proximité au bâti existant et aux réseaux routiers (le premier considéré comme étant un facteur plus important), on peut simplifier l'information en distinguant :

- un type d'espace susceptible d'être urbanisé en extension de voisinage immédiat (urbanisation par taches, de proche en proche qui a un impact relativement minime sur la structure du paysage) ;
- à l'opposé, un type d'espace marqué surtout par une position d'éloignement au bâti, où la distance au réseau routier est plus déterminant bien qu'elle traduise également un relatif isolement. Dans ce cas, la logique d'urbanisation relève du principe du mitage : de nouvelles implantations apparaissent dans un paysage jusque là non touché.
- Un type intermédiaire, relâchement du tissu urbain proche, qui consomme un espace périphérique et produisant un paysage périurbain de transition.

Cette typologie, à affiner, permet d'établir un zonage sur lequel l'analyse des résultats de simulation peut être enrichie d'une lecture de production et d'évolution paysagères par l'urbanisation.

### 7.1.2 Interprétation par comparaison des scénarios : quels changements avec l'évolution du réseau routier ?

L'évaluation des changements simulés en relation à l'évolution du réseau routier principal en 2015, par l'extension des voies rapides au centre et au sud de la Martinique, s'appuie sur l'analyse précédente. En effet, le facteur de différence est l'apport d'accessibilité pour les types d'éléments d'urbanisation concernés, l'habitat individuel et les zones d'activités, comme l'illustre la Figure 32.

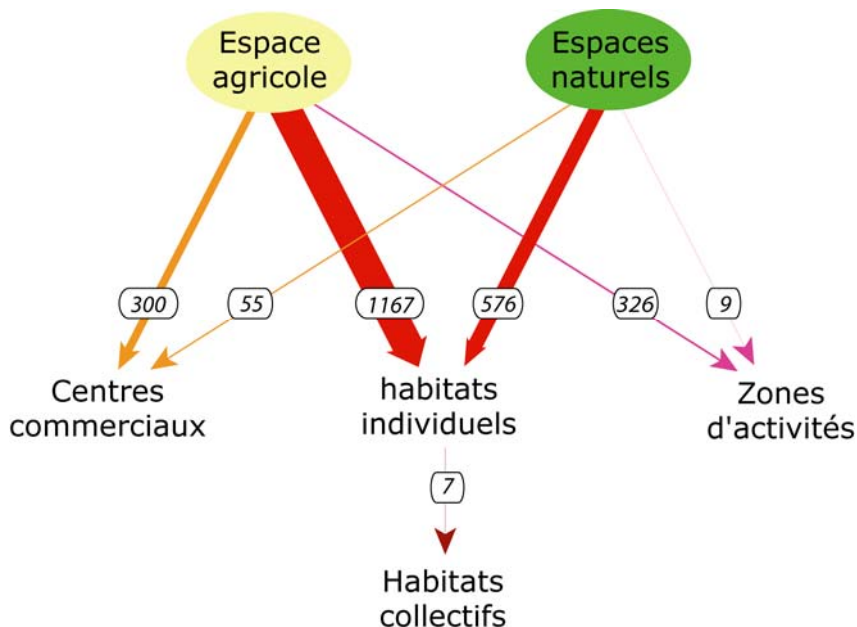


Figure 32 : Changements de surface des types d'occupation du sol (en hectares) entre 2000 et 2025, avec évolution du réseau routier

La présence de ce nouveau réseau a pour effet d'augmenter légèrement la surface des habitats individuels (+42 ha), consommés sur les espaces agricoles (+16 ha) et naturels (+24 ha) : l'amélioration de l'accessibilité, activée par la présence d'échangeurs associés aux voies rapides, explique ce phénomène. Il est important de considérer que le modèle produit *a priori* une perte de surface intéressante sur ce type d'habitat le long du tracé de ces voies rapides, considérées comme nuisibles à l'installation résidentielle dans un voisinage de 100m. Seuls les échangeurs produisent une attractivité. Dans ce scénario, un nombre important d'échangeurs est activé après 2015 : 8 sur le tronçon sud et 9 sur le tronçon est, soit 17 échangeurs qui s'ajoutent aux 8 existants entre Fort-de-France et le Lamentin.

La Figure 33 représente les résultats, distingués par période de cinq ans, qui marquent l'évolution de l'occupation du sol entre 2000 et 2025, avec « l'événement » de 2015 d'activation du réseau des voies rapides.

L'effet des nouveaux échangeurs s'apprécie plutôt dans la croissance forte, pour ce scénario, des surfaces dévolues aux zones d'activités. Une augmentation de 335 hectares pour ce dernier type est réalisée, en grande partie aux dépens des espaces agricoles (le tracé des voies rapide emprunte surtout des espaces initialement agricoles, en bas de versant ou en zone côtière). En proportion, la différence est énorme entre les deux scénarios : on assiste à une croissance de 260% des surfaces en zones d'activité.

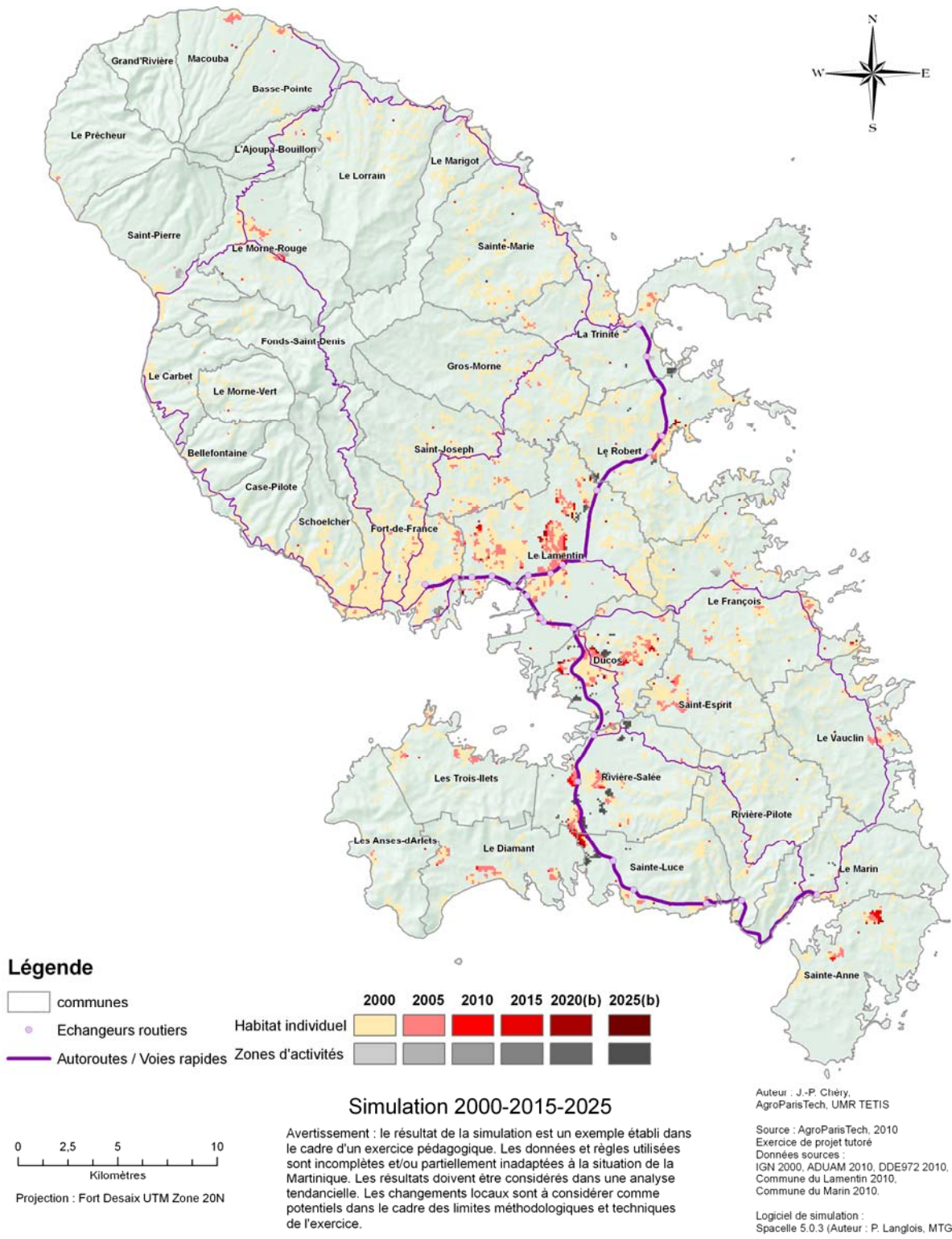


Figure 33 : Changement d'occupation du sol en Martinique - Habitat individuel et zones d'activités, simulation 2000-2025, avec évolution du réseau routier

Alors que les tracés des voies rapides sont considérées comme pénalisants pour les zones d'habitats dans leur voisinage, le modèle affecte facilement le type des zones d'activités à proximité de voies, et également à proximité de leurs échangeurs. Ces zones apparaissent clairement après l'année 2015, et s'établissent surtout d'ailleurs entre 2020 et 2025. Les principaux espaces affectés par cette émergence de zones d'activité sont effectivement relativement proches de ces nouveaux échangeurs :

- dans la commune de Ducos, principalement dans les lieux-dits de Petite Rochelle et des pentes nord de la zone de l'embouchure du canal de Ducos, à l'est du lieu-dit Canal ;
- dans la commune de Rivière-Salée, aux lieux-dits des Dignes et de Petit-Morne du côté de Petit-Bourg, au nord de Guimbé, autour de Thoraille et entre Sagesse et Petit Céron ;
- à Sainte-Luce, au sud des Coteaux en direction de Grands Céron, vers une décharge.
- Au Lamentin, dans la direction du Robert, du côté de Bochette et Rives Chancel ;
- Enfin, au Robert (à la Cadet et au sud de Courbaril) et à la Trinité (au nord de Petit Galion).

Ces résultats spécifiques aux zones d'activité n'apparaissent pas « réalistes », même si les précisions des lieux indiqués précédemment pourraient laisser penser à cela. Le modèle, à ce niveau pose problème et mérite alors d'être amélioré. En revanche, cet excès de prise en compte des effets des voies rapides et des échangeurs indique mieux le contraste entre zones qui sont favorables à l'établissement de zones d'activités relativement aux zones d'habitat. En effet, les localisations des échangeurs correspondent bien à des lieux où se croisent les RN 1 et 5 et d'autres voies principales, indiquant des zones à accessibilité intéressante.

Il s'agit bien en fait de réfléchir sur les résultats du modèle en ces termes. La précision faite sur les localités affectées par les simulations n'est normalement pas de mise dans une démarche prospective : les propositions offertes par des modèles de simulations doivent être appréciées d'abord sur un niveau qualitatif. On rappellera donc bien ici que les résultats de ces travaux sont intermédiaires et la démarche prend tout son sens si l'on peut relever les réactions des parties prenantes et des experts du domaine dans le cadre de séances d'ateliers prospectifs où peut être présenté ce type de travail de simulation<sup>29</sup>.

## **7.2 Cartographie de la comparaison des résultats des simulations pour 2025**

La Figure 34 représente la comparaison des deux situations finales obtenues par les deux scénarios pour 2025, en localisant les modifications relatives pour les nouvelles zones en habitats individuels et en zones d'activités. Cette carte permet de bien relever en particulier l'importance dans le scénario 2, avec l'apparition des voies rapides vers l'est et le sud, des zones d'activités (en grisé). La comparaison est donc bien intéressante à mener à la fois sur les aspects quantitatifs présentés dans la matrice de transition (Figure 50, en annexe 3) et sur les aspects spatiaux que la cartographie et l'analyse spatiale peuvent mieux qualifier en termes d'impacts sur la structure régionale.

---

<sup>29</sup> Sur ce point, un travail similaire, avec des moyens conséquents dans le cadre d'un projet européen de recherche, le projet PLUREL - *Peri-urban Land Use Relationships - Strategies and Sustainability Assessment Tools for Urban-Rural Linkages* - a permis d'une part de produire des scénarios d'évolution du péri-urbain de l'aire urbaine de Montpellier (avec la plate-forme de simulation par automates cellulaires MOLAND, utilisée par l'Union européenne), et d'autre part de restituer ces résultats spatialisés auprès des parties-prenantes de l'élaboration et de la révision du SCOT de Montpellier, afin de porter une réflexion à l'horizon 2030 des impacts désirés et non désirés des choix de densification et d'affectation retenus dans ce document d'aménagement et d'urbanisme.

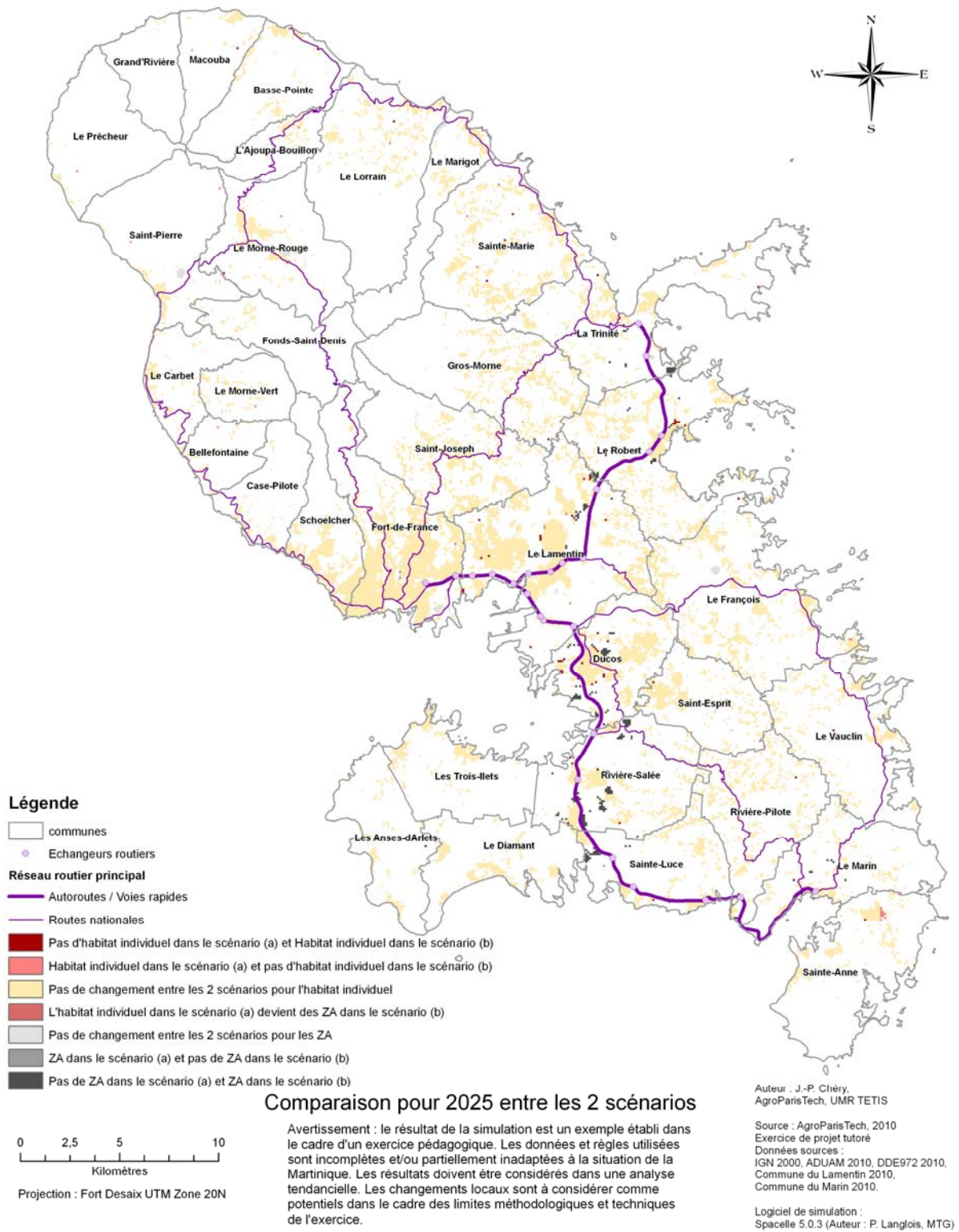


Figure 34 : Comparaison des résultats des 2 scénarios de simulation pour 2025



A cette étape de l'analyse des résultats des simulations, on peut en revanche souligner un problème de bonne prise en compte de certains processus dans les règles de transition appliquées directement depuis le modèle issu du cas du bassin de Thau : l'expansion des centres commerciaux.

### 7.3 Le cas des centres commerciaux : problème de simulation

Les centres commerciaux, considérés dans le modèle comme les zones commerciales de types hypermarchés et galeries commerciales, sont mal pris en compte dans le modèle. Leur surface totale en 1994 est évaluée à 60 hectares, et à 61 hectares pour 2000. En 2025, les résultats des simulations pour les deux scénarios donnent 416 hectares, soit une croissance de près de 682% en 25 ans, c'est à dire presque 8% par an ! Le problème est à étudier sur la base des règles de transition qui produisent les gains d'espaces en centres commerciaux (code « Cco ») : deux règles sont concernées (voir annexe 3) : la règle 9 et la règle 15, qui portent sur les transitions depuis les espaces agricoles et les espaces naturels vers les centres commerciaux. On peut faire deux remarques principales :

- La première s'appuie sur le constat d'une apparition « immédiate » des zones commerciales dès le début de la simulation. Les deux règles indiquent que l'apparition d'une zone commerciale n'est possible que si aucune zone commerciale n'est déjà présente dans un rayon de 10 km. Or, la couche d'occupation du sol pour 2000 n'a que peu de zones dans ce type (elles sont localisées à Schœlcher, Fort-de-France, le Lamentin, Ducos et Rivière-Salée). « Mécaniquement », une zone tampon de 10 km autour de ces points initiaux produit des espaces d'appel à l'implantation de zones commerciales au-delà, principalement sur les communes de la côte orientale : Sainte-Marie, la Trinité, le Robert et le François, ainsi que d'autres zones ayant des structures spatiales locales adaptées : le Morne-Rouge, Gros-Morne, Rivière-Pilote et Saint-Pierre ;
- La deuxième remarque est associée à la dimension dynamique du modèle. Les deux règles incriminées produisent ce type d'équipement commercial sur la base d'une logique de compétition spatiale seulement, ce qui explique la création immédiate de zones dans les espaces non couverts par une zone commerciale, et qui comble immédiatement l'ensemble du territoire. Ainsi, il n'y a ensuite plus d'évolution sur la base de cette structure, ce qui explique que les deux scénarios produisent le même résultat « final » de 416 hectares : ce résultat était produit dès 2001...

Le modèle, pourtant, ne produit pas de résultats handicapés par ce défaut important. Cela provient d'une déconnection de la présence des centres commerciaux par rapport aux autres types artificialisés. Les règles qui produisent des espaces en habitats individuel et en zones d'activités n'utilisent pas la présence ou la contrainte relative des centres commerciaux. Cela permet de préciser deux aspects du modèle pour ces centres commerciaux : ils nécessitent d'une part d'être bien intégrés dans la couche initiale d'occupation du sol pour éviter cet effet non réaliste d'apparition soudaine dès le premier pas de temps de simulation, et d'autre part, le modèle simplifie l'accès à l'offre commerciale dans un territoire régional, ce qui appelle à proposer des améliorations sur ce point.

La mauvaise prise en compte des centres commerciaux existants en 2000 en Martinique est essentiellement due à la difficulté rencontrée pour récolter une information à jour et utilisable. Les informations disponibles à la rubrique « centres commerciaux et grands magasins » sur l'annuaire en ligne « Pages jaunes » (consultation du site internet en 2010) donnent 60 supermarchés et hypermarchés, ainsi que 13 centres commerciaux et grands magasins. L'absence d'information sur leur existence en 2000 et la difficulté de distinguer de simples supermarchés de quartier de grands centres à importance régionale donnent une indication des caractéristiques à mobiliser auprès des institutions concernées, telle la Chambre de Commerce et d'Industrie. Dans le cadre de l'exercice pédagogique, la meilleure prise en compte de la couverture spatiale commerciale de la Martinique n'a pas été réalisée.

## 8 Des pistes pour enrichir l'analyse de l'évolution spatiale de l'urbanisation en Martinique

---

Les résultats obtenus par les deux scénarios pour 2025 permettent de tirer quelques enseignements pour la modélisation des changements d'occupation du sol en Martinique, en particulier pour ce qui relève de l'étalement urbain. L'exercice à l'origine de ces simulations ne permet pas, du fait des moyens mis en œuvre et des délais associés, de considérer ces résultats comme des produits définitifs mais bien une forme de proposition méthodologique sur les possibilités qu'offre l'information géographique en termes d'éléments complémentaires dans une démarche prospective.

Les étapes qui ont été suivies pour la mise en œuvre de cette modélisation permettent de dégager quelques pistes méthodologiques et techniques pour enrichir l'approche qui vise à évaluer l'évolution de l'urbanisation pour la Martinique.

### 8.1 Simuler à partir de bonnes informations

L'exercice pédagogique utilise un modèle préétabli pour son application directe pour le cas martiniquais. En termes de recherche, appliquer un modèle élaboré sur une configuration *a priori* générique pour ensuite l'appliquer à un cas particulier est un enjeu énorme. Pouvoir utiliser des structures mises au point dans des modèles de simulation précédentes est véritablement un mode d'enrichissement important. Ici, la configuration n'était pas générique mais issue d'un travail élaboré pour un cas particulier, celui du bassin de Thau en région Languedoc-Roussillon, ce qui peut étonner pour une application aux Antilles. Dans une posture scientifique, un modèle a une vertu heuristique : les écarts au modèle, les différences produites entre l'outil maîtrisé par son concepteur et les résultats appliqués permettent d'améliorer les connaissances d'une part sur l'outil de modélisation et d'autre part sur l'étude de cas, pour son utilité sociale. On peut envisager d'améliorer l'application sur le cas martiniquais, pour les résultats qui lui sont propres et pour une éventuelle généralisation à d'autres situations dans l'Arc antillais. Pour cela, en considérant le domaine méthodologique utilisé, à savoir un automate cellulaire alimenté par une information spatiale adaptée, on peut dégager les pistes d'amélioration suivantes :

- **assurer une meilleure acquisition des informations spatiales d'occupation du sol.** Cela passe d'une part par la mise à jour de l'information géographique, dont les sources produites par l'IGN sont d'une qualité très satisfaisante. A ce propos, la directive *Inspire* et la politique nouvelle de l'IGN quant à la mise à disposition de son information de référentiel pour des applications de recherche et de formation rendent la perspective optimiste. L'information géographique de base, la BD Topo, fournit un détail et une richesse thématique valable. En revanche, on a pu constater que les versions 1994 et 2000 avaient des nomenclatures différentes sur certains points. La production d'une carte d'occupation du sol à jour et pertinente est donc un enjeu toujours fort. Les efforts de l'Union européenne pour la description de l'environnement spatial au travers de la base de données Corine Landcover de l'Agence Européenne de l'Environnement ont porté jusqu'à présent uniquement sur les territoires de l'Europe géographique, délaissant les régions ultrapériphériques dont les départements d'outre-mer français font partie. Depuis fin janvier 2011, le service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable (CGDD) met à disposition les couvertures Corine Landcover des quatre départements d'Outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane – pour sa bande littorale – et la Réunion) pour 2000 et 2006. Pour la Martinique, on constate que les changements d'occupation du sol entre 2000 et 2006 sont relativement peu nombreux (Figure 35).

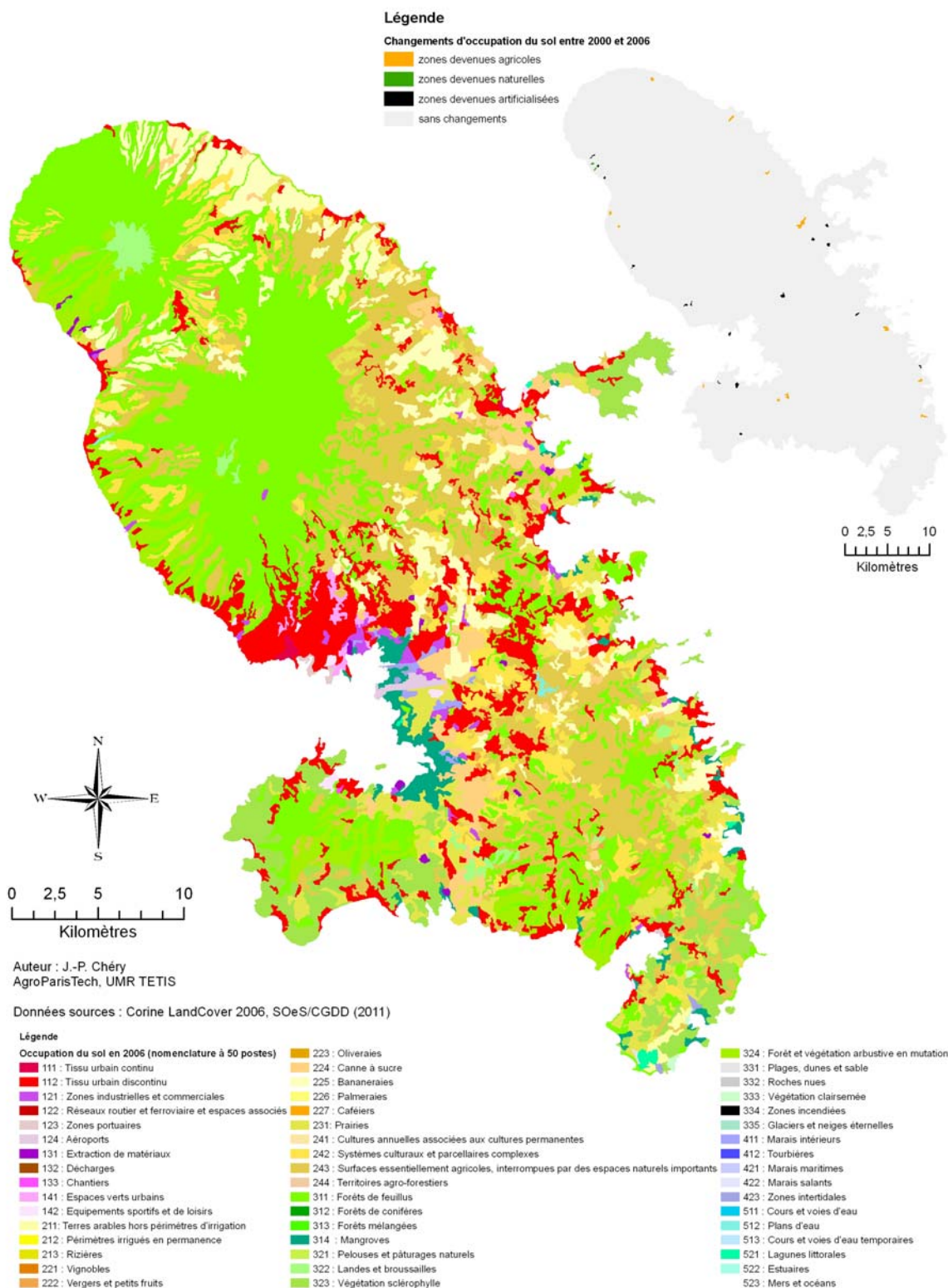


Figure 35 : Occupation du sol en 2006 et changements d'occupation du sol entre 2000 et 2006 en Martinique, d'après Corine Landcover

Les métadonnées de cette information géographique précisent le mode de production : « La base CLC DOM 2006 est issue de la photo-interprétation visuelle d'images satellitaires SPOT 4 & 5 (IRS, précision 20 mètres), avec l'appui de données auxiliaires (Landsat, SCAN 25®, BD CARTO®, ...). La

surface de la plus petite unité cartographiée (seuil de description) est de 10 hectares ». La modélisation proposée demande un niveau de détail plus fin, à un hectare. On peut en effet remarquer que les zones de la tache urbaine qui s'étendent sur les sommets des mornes de la partie sud de l'île sont peu représentées dans la carte de l'occupation du sol de Corine Landcover. Cette base, conçue initialement dans le contexte géographique continental européen, semble peu adapté pour des phénomènes d'entités insulaires relativement petites, pour lesquels la gestion nécessite un niveau d'analyse adapté : perdre 1 hectare de forêt dans un territoire de 1.128 km<sup>2</sup> n'a pas la même signification que perdre 1 hectare de forêt dans un territoire de 543.965 km<sup>2</sup> (superficie de la France métropolitaine d'après l'INSEE). On peut donc souhaiter qu'une production régulière d'une information géographique d'occupation du sol adaptée en milieu insulaire tropical soit engagée. Pour l'instant, ce sont essentiellement des programmes de recherche scientifiques qui proposent cela<sup>30</sup>.

- **Améliorer les sources d'information mobilisées pour la description des espaces dévolus aux zones commerciales, aux zones d'activités ou aux zones d'activités isolées** (à nuisances diverses pour l'habitat en particulier). Cela passe par une sollicitation des établissements publics qui gèrent ces types de secteurs d'activité et par une validation des dates d'exercice effectif de ces implantations par les acteurs locaux. Ce point relève de la question de production d'une **carte d'utilisation des sols**. Avec des images satellites, on peut évidemment repérer facilement des bâtiments divers. Mais leur usage, lui, n'est pas facilement fourni par le capteur embarqué dans le satellite. Un usage résidentiel, commercial, de service public, industriel ou agricole d'un bâtiment est défini par des méthodes moins automatiques. La BD Topo de l'IGN fournit déjà des informations précieuses quant aux utilisations de certaines activités (administrations, culture et loisirs, religieux, santé, enseignement, sport, transport) mais les activités industrielles et commerciales ne sont pas distinguées les unes des autres, alors que la modélisation – et le fonctionnement territorial simulé – nécessitent cette distinction. Par ailleurs, les zones d'habitat individuel et collectif ne sont pas aisées à distinguer : la hauteur et la forme au sol des bâtiments peuvent alors aider à une meilleure distinction.
- **Améliorer la prise en compte d'une information évolutive portant sur les contraintes**. La modélisation présentée dans ce travail a utilisé des données utiles à l'évaluation des contraintes générales qui pèsent sur l'évolution de l'occupation et l'utilisation du sol en Martinique : plans de prévention des risques et plans d'urbanisme particulièrement. Le modèle proposé souffre d'un problème structurel : la prise en compte des contraintes est fixe, par simplification. A partir de 2000, on considère en effet que les plans de prévention des risques sont rationnellement appliqués et suivis tandis que les plans d'urbanisme sont également adoptés et appliqués de manière homogène partout. Le PPRN de Martinique a été achevé en 2004, soit quatre ans après la date pour laquelle il est intégré dans le modèle. Pour les documents de contrainte en constante modification que sont les POS et les PLU, leur adéquation avec une modélisation spatiale et temporelle mériterait d'être mieux prise en compte dans le cadre de projections sur moyen et long termes. Des solutions méthodologiques et techniques existent. Pour l'outil Spacelle, cela passe en particulier par l'utilisation plus importante de règles de type « Événement programmé au bout de  $n$  années ». Il faudrait alors produire

---

<sup>30</sup> On peut penser justement au projet CaribSat, piloté par l'IRD, et également le tout récent projet Equipex « GéoSud » au partenariat nombreux, qui vise à assurer une mise à disposition aux établissements publics (de recherche, mais aussi les collectivités territoriales) d'une couverture satellite à Très Haute Résolution Spatiale de la France métropolitaine et ultramarine, à pas de temps inédit : une mise à jour annuelle. Les produits issus de l'exploitation d'une telle source d'information pourraient alors, dans le cas antillais, assurer une mise à disposition d'une couverture d'occupation du sol très intéressante. Seuls les nuages peuvent perturber cette perspective...

autant de couches de contraintes que d'années connues impliquant une modification et introduire dans la simulation cet « événement » qu'est la modification du plan de contraintes, pour les années de la période connue (dans notre cas, de 2000 à 2010).

- **Prise en compte d'autres phénomènes : l'approche géographique par l'analyse spatiale et la prise en compte de l'espace fonctionnel.** La modélisation s'appuie d'une part sur les plans d'information spatiale qui peuvent être améliorés, mais également par les règles de transition, véritable moteur des simulations. C'est là que l'enjeu d'amélioration du modèle est le plus important. La Martinique n'est pas le Bassin de Thau, cela est l'évidence. Certains processus à l'œuvre sur cette île tropicale doivent être mieux pris en compte pour rendre le modèle véritablement opérationnel. Certaines pistes, toutes théoriques dans cette phase de travail, ont pu être brièvement explorées. C'est le cas de la question du rôle de la visibilité à l'espace maritime pour l'implantation du bâti futur. En quoi cette caractéristique est un facteur déterminant ou non dans ce processus. La thèse de S. Robert (2009) a montré que sur la Côte d'Azur, les espaces soumis à la vue sur la mer sont plus de deux fois et demie plus artificialisés que les espaces sans vue. Il ne paraît pas adhérent de considérer que l'espace touristique martiniquais relève de certains principes communs à ce modèle paroxysmique du tourisme qu'est la Côte d'Azur. Le croisement des types de formes topographiques (Figure 39, Annexe 3) et de la visibilité de la mer (Figure 40) pour la tache urbaine de 2000, illustré par la Figure 41, souligne l'importance des positions hautes et des positions ayant une vue sur la mer pour l'urbanisation. Il serait intéressant d'évaluer en quoi l'urbanisme destiné au tourisme s'implante sur ces positions et créent des points nouveaux d'extension du bâti. Par ailleurs, d'autres considérations doivent être mieux évaluées : la contrainte des sols pollués par la chlordécone fournit des perspectives de simulation selon des degrés de prise en compte de ce facteur spatialisé dans les choix d'implantations nouvelles de l'habitat. Enfin, un élément majeur doit être mieux introduit : l'espace fonctionnel établie par le poids relatif de la population résidente des différentes communes, ainsi que par les pôles d'emploi : les processus d'extension du bâti sont régulés par des logiques d'accessibilité relatives à la mobilité quotidienne, pendulaire. Cela nécessite une réflexion d'ordre méthodologique.

## 8.2 Simuler : plusieurs méthodes possibles

Les améliorations envisageables peuvent nécessiter de combiner la plate-forme de simulation par automate cellulaire avec d'autres outils de modélisation. Il paraît intéressant de ce point de vue d'évaluer une retranscription du modèle dans une plate-forme qui associe un automate cellulaire pour l'expression spatiale du système et un outil de modélisation dynamique qui permet de simuler les variations des poids de population ou d'emploi selon les différentes communes, par des fonctions établies sur la base d'équations différentielles. Les règles de transition de l'automate cellulaire seraient alors enrichies par cette connexion technique.

Par ailleurs, ce type de configuration de modélisation permet de mieux prendre en compte des processus de changement d'occupation des sols relevant des dynamiques agricoles et naturelles. Des plates-formes existent et rassemblent des communautés d'utilisateurs, avec des applications portant sur des thématiques tropicales. On peut ainsi signaler la plate-forme *Dinamica-Ego*<sup>31</sup>, développée par des chercheurs brésiliens, ou la plate-forme *Simile*<sup>32</sup>, conçue par l'Université d'Edimbourg. D'autres plates-formes existent avec des capacités de calcul et d'intégration de différents aspects de l'aménagement du territoire. L'outil de modélisation *Moland*, utilisé par les équipes de chercheurs rassemblés à Ispra en Italie dans le cadre du Joint Research Center de l'Union européenne, est devenu un standard dans ce type de modélisation.

<sup>31</sup> <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>

<sup>32</sup> <http://www.simulistics.com/>

C'est une version adaptée du logiciel Metronamica, déjà signalé dans le présent rapport, développé par RIKS. Ce dernier outil, sous licence commercial, est financièrement relativement coûteux (environ 15.000€). Il est pourtant utilisé de manière opérationnelle quotidiennement par le service de planification territoriale de l'Etat de Porto Rico, dans une version faite sur mesure (plate-forme Xplorah<sup>33</sup>). Une application ponctuelle a été par ailleurs réalisée pour l'île de la Réunion, qui constitue un exemple typique de la richesse des apports de ce type d'outil dans une démarche prospective (Lajoie et al., 2007).

### 8.3 Simuler en prospective : voir... pour prévoir

Un enjeu méthodologique majeur est en fait de disposer d'une plate-forme apte à intégrer un processus itératif entre le modélisateur et les parties prenantes dans une démarche de prospective territoriale. Les scénarios sont généralement conçus dans une étape initiale, avec l'élaboration de récits qualitatifs contrastés selon des modalités structurantes comme le changement climatique, la crise du pétrole, des modes de développements économiques ou des aspirations sociales diverses qui définissent des polarités exclusives entre elles.

Ces scénarios qualitatifs sont ensuite traduits en ordres de grandeurs pour des indicateurs ou des variables qui interviennent dans le modèle de simulation. Dans cette étape, il est important que les experts des phénomènes intégrés dans les scénarios puissent être mobilisés, ou que la littérature sur ces questions permette la quantification introduite dans le modèle.

En décembre 2010 est paru un article (Durance et Mousli, 2010) dans la revue de la DATAR « Territoires 2040 », où des travaux de prospectives sont développés. Cet article porte sur une démarche prospective menée sur la Martinique à l'horizon 2025. Il est alors intéressant de reconnaître dans cette démarche les points sur lesquels l'apport de la simulation spatiale prospective peut s'insérer avec bénéfice. On peut rappeler ici les cinq conditions qui garantissent la rigueur d'une démarche prospective (Durance et Mousli, 2010, p. 82) :

- « **la pertinence**, pour sélectionner et étudier les dimensions majeures qui structurent le système étudié ;
- **la vraisemblance**, pour explorer les évolutions ayant des chances, même minimales, de se produire ;
- **la cohérence**, pour construire avec rigueur des représentations partagées des différents scénarios ou histoires possibles du contexte global et régional ;
- **l'importance**, pour identifier et analyser toutes les évolutions pouvant avoir des conséquences sérieuses pour le territoire, même si elles paraissent improbables à certains ;
- **la transparence**, pour échanger et travailler avec tous les acteurs qui pouvaient contribuer utilement au débat, et communiquer avec l'ensemble des Martiniquais. »

Ces points sont valables, que l'on suive une démarche de prospective stratégique territoriale ou non. La démarche « Martinique 2025 » se positionnait d'ailleurs dans le cadre du Schéma régional de développement économique (SRDE), c'est-à-dire que la question de l'économie y tenait une position centrale. Les cinq conditions de la démarche prospective se déclinent, pour l'aspect spatial et territorial, selon les termes suivants : (1) l'analyse spatiale est un ensemble méthodologique et technique qui permet de sélectionner et de dégager les éléments qui structurent le système spatial étudié. Elle permet ainsi d'assurer une meilleure prise en compte de lieux qui peuvent être négligés par une démarche qui laisserait beaucoup de poids aux représentations particulières de tel ou tel acteur du territoire ; (2) la modélisation spatiale permet de

<sup>33</sup> <http://www.riks.nl/projects/xplorah>

produire des représentations d'évolutions diverses, sous la forme de projections spatialisées et cartographiques, qui peuvent être alors soumis à la critique pour évaluer leur degré de vraisemblance ; (3) la cohérence est renforcée par une approche méthodologique spatiale grâce à la prise en compte des relations et logiques de localisation, généralement produites par des phénomènes de voisinage et de colocalisation : les choix de scénarios et de récits qualitatifs peuvent être ainsi configurés sur la base des logiques des interactions spatiales ; (4) les résultats des simulations sont quantifiés, et en particulier, sont exprimés sous la forme de rapports de surfaces et de rythmes de variation, ce qui permet d'assurer une évaluation des importances relatives des impacts des différents scénarios et enfin, (5) les outils de la géomatique et de la modélisation spatiale sont de plus en plus évalués dans leur capacité à intégrer des procédures de démarches participatives, avec des plateformes de modélisation qui tendent à mieux expliciter la prise en compte des points de vue des différents acteurs.

Généralement, les démarches prospectives visent à souligner un monde de possibles par des qualifications contrastées de situations pour un horizon à long terme. Ainsi, l'exercice Martinique 2025 a proposé cinq scénarios d'évolution du territoire. Les deux scénarios les plus contrastés, le scénario redouté de la « faillite économique » et le scénario souhaité « Entreprendre en Martinique ». Certains points de ces scénarios ont une relation très forte au territoire, aux zones d'habitats, aux transports et aux paysages agricoles et naturels. La restitution de tels scénarios sous une forme littéraire d'un récit donné à lire aux acteurs du territoire nous apparaît peut être limitée. Dans la communauté de la géographie et de la géomatique intéressée par les questions de prospective<sup>34</sup>, les modes de restitutions classiques des résultats d'une démarche prospective semblent être en deçà du potentiel d'impact sur la réflexion et l'imagination de chacun pour les futurs possibles. L'importance de la représentation cartographique et des simulations paysagères aident à produire une communauté de points de vue, qui peut survivre au temps de l'animation de la démarche prospective elle-même.

Une des pistes d'amélioration du travail ébauché ici peut alors prendre la forme d'une application de modélisation spatiale de certains des scénarios identifiés dans cette démarche prospective « Martinique 2025 ».

---

<sup>34</sup> La préoccupation de renforcer les liens entre l'analyse et la modélisation spatiale et la prospective territoriale trouve un exemple dans la tenue d'un séminaire « *Géoprospective : apports de la dimension spatiale pour les recherches prospectives* », en avril 2011, organisé par le CNRS.

## Conclusion

Au travers de l'exercice d'application d'une méthode de simulation spatiale d'évolution de l'occupation du sol de la Martinique, la question d'aider à porter un regard élargi et prospectif sur le territoire est soulevée. Comment, de manière pertinente et valable, aider les acteurs du territoire à ne pas s'enfermer dans un « quotidien » rythmé par l'horizon annuel des budgets publics et les échéances électorales.

L'urbanisation est un processus complexe où les logiques particulières sont fortes. C'est ainsi que les paysages littoraux et insulaires à très fort tropisme connaissent des situations de pression d'urbanisation qui tendent finalement à les dégrader définitivement. On est ainsi en présence d'un système de « tragédie des biens communs » : le commun patrimoine qu'est le paysage d'une île dérive vers un objet dégradé, qui offre moins de ressources environnementales, de ressources touristiques et d'aménités pour les habitants.

Le proverbe créole mis en exergue en début du rapport - « *Sa ki ta'w, la riviè pa ka chayé'y* » ou « *ce qui t'est destiné ne sera pas emporté par la rivière* » - parle peut-être d'une certaine forme de fatalité, mais les choix d'aménagement et de développement, eux, ne relèvent pas de la fatalité et il s'agit alors d'accompagner au mieux leur élaboration.

La démarche prospective offre des méthodes qui projettent les imaginations dans des horizons lointains, et l'importance de se projeter en 2025 à partir de 2010 peut se mesurer à l'idée que l'on pouvait avoir de 2010, si l'on s'était posé la question... en 1995. La projection dans le temps oblige à réfléchir sur la notion de dérive : un « petit peu » chaque année produit de nouvelles formes après 15 années. C'est typiquement le cas de l'urbanisation. Les municipalités gèrent des besoins en logements et en aménagement très forts et qui, menés au fil de l'eau, ont pu produire dans certains territoires des structures spatiales jugées mal adaptées à d'autres enjeux, tels ceux de l'agriculture ou de l'environnement naturel. Le territoire est un système de lieux organisés entre eux dans le but d'assurer au mieux la vie et l'activité de sa population. Il est très difficile de raisonner sur des processus de colocalisations, de compétitions entre lieux ou de coopérations entre lieux. Les méthodes et outils de la modélisation spatiale peuvent y aider. L'application d'un modèle par automate cellulaire pour l'évolution de l'occupation du sol en Martinique depuis 1994 jusqu'en 2025, avec des projections simulées à partir de 2000, souligne ces éléments d'interactions spatiales. La structuration du territoire en collectivités différentes pose la question du degré de coordination entre elles : les effets d'externalisation des nuisances d'une portion du territoire vers un autre existent. Les Schémas de cohérence territoriale se proposent de définir « implicitement » une cohérence interne à chaque territoire. La cohérence entre territoires, et le cas d'une île en est flagrant, est un enjeu majeur. C'est ainsi que la modélisation spatiale peut aider à regarder les démarches qui visent, comme la démarche inter-SCoT, à mieux organiser les relations entre territoires et entre lieux.





# Bibliographie

## ■ Ouvrages imprimés

BAILLY, Antoine, FERRAS, Robert, PUMAIN, Denise. *Encyclopédie de géographie*. Paris : Economica, 1992, 1161 p.

GUERMOND, Paris. *Modélisations en géographie: déterminismes et complexités*. Lieu d'édition : Hermès Science Publications, 2005, 392 p.

LANGLOIS, Patrice. *Simulation des systèmes complexes en géographie : Fondements théoriques et applications*. Paris : Hermès Science Publications, 2010, 332 p.

BEGOT, Monique, BULEON, Pascal, ROTH, Patrice. *Emergences caraïbes, éléments de géographie politique*. Paris : l'Harmattan, 2001, 77 p.

ZWIRN, Hervé P.. *Les systèmes complexes. Mathématiques et biologie*. Paris : Odile Jacob Sciences, 2006, 219 p.

## ■ Ouvrages électroniques

ADUAM. *Bilan de la mise en oeuvre du schéma d'aménagement régional (Chapitres 1 à 4)*. [En ligne], Fort-de-France : Aduam, 2008, [référence du 05 mai 2010]. URL : <http://www.aduam.com/aduam/etudes/publications/etudes-frac/sar/>

CERTU. *Détermination d'un MOS et calcul d'une tache urbaine a partir de la BD Topo de l'IGN*. [En ligne], Lyon : Certu, CETE du Sud-Ouest, 2008, [référence du 15 mars 2010]. [http://lara.inist.fr/bitstream/2332/1460/1/CERTU-RE\\_08-25.pdf](http://lara.inist.fr/bitstream/2332/1460/1/CERTU-RE_08-25.pdf)

IEDOM. *L'habitat dans les outre-mer français : progrès, enjeux, disparités*. [En ligne], Paris : IEDOM, 2010, Les Notes de l'Institut d'émission, [référence du 12 septembre 2010]. [http://www.iedom.fr/IMG/pdf/noteie\\_habitat\\_022010.pdf](http://www.iedom.fr/IMG/pdf/noteie_habitat_022010.pdf)

INSEE, ACSE. *Atlas des populations immigrées en Martinique*. [En ligne], Paris : INSEE, ACSE, 2006, [réf. du 05 juin 2010]. URL : [http://insee.fr/fr/insee\\_regions/martinique/themes/etudes\\_detaillees/atlasimmigres/atlas\\_immigres\\_ma.pdf](http://insee.fr/fr/insee_regions/martinique/themes/etudes_detaillees/atlasimmigres/atlas_immigres_ma.pdf)

SMBT. *Atlas interactif sur l'étalement urbain de 1944 à 2005 et simulation 2020, sur le territoire de Thau*. [En ligne], SMBT, 2009, [réf. du 08 septembre 2010].

<http://smbt.teledetection.fr> Rubrique Observatoire, fichier ppt\_evolution bati.pps

## ■ Chapitre dans un ouvrage imprimé

WHITE, Roger, ENGELN, Guy. *Modelling land use change with linked cellular automata and socio-economic models: a tool for exploring the impact of climate*

*change on the island of St Lucia*. In : HILL, M. J., ASPINALL, R. J. (éd.), *Spatial Information for Land Use Management* . Amsterdam : Gordon and Breach, 2000, 15 p.

### ■ Rapports imprimés

SCHERER, Claude. *Le foncier agricole en Martinique*. Le Lamentin, Décembre 2003, 335 p. + Annexes

RIKS BV. *XPlorah, The Spatial Decision Support System for Puerto Rico*. Maastricht, 2002, 17 p.

O.N.U., Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population to 2300*. New-York, 2004, 254 pages

### ■ Travaux universitaires

AUPETIT, Armand, JEAN-CHARLES, Arnaud, PARENT, Delphine, PLANTE, Virginie, QUINIOU, Julian. *Prospective spatiale de la Martinique. Les changements d'occupation du sol*. Rapport de Mini-projet tutoré, 1ère année de Master SIIG3T, Universités Montpellier 2 et Montpellier 3, AgroParisTech, 31 mai 2010, 40 p.

CROTET, Laurent. *Simulation de l'étalement urbain autour du bassin de Thau dans le cadre de l'élaboration du SCOT de Thau*. Mémoire de fin d'études - DAA AgroTIC, SupAgro, Montpellier, 25 septembre 2007, 100 p.

SERGHINI, Myriam. *Analyse diachronique de l'occupation du sol en Martinique : approche méthodologique*. Mémoire de fin d'étude - DHET en Sciences Agronomiques, Option Ingénierie Agronomique, Environnement et Gestion de l'Espace, ENSA Toulouse, 2003, 62 p.

ROBERT, Samuel. *La vue sur mer et l'urbanisation du littoral. Approche géographique et cartographique sur la Côte d'Azur et la Riviera du Ponant*. Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, UMR ESPACE, 2009, 458 p.

### ■ Articles de périodiques imprimés

DUBOS-PAILLARD, Edwige, GUERMOND, Yves, LANGLOIS, Patrice. *Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire. Le modèle Spacelle*. *L'Espace géographique*, 2003, 4, tome 32, pp. 357-378

GOIFFON, Marie, BONNEFOY, Jean-Luc. *Le retournement de l'espace martiniquais : modélisation d'une interaction habitants, espace et société* . *Revue Mosella, Actes du colloque "Marges et interfaces" - 13 et 14 novembre 2003* , 2006, Tome XXVIII, n°3-4, 283-296

INSEE, *Projections de population aux Antilles-Guyane à l'horizon 2030*. *Les Cahiers Antilles-Guyane*, 2008, 32 pages.

WHITE, R., ENGELEN, G. *High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2000, 24, 383-400

## ■ Articles de périodiques électroniques

IEDOM. *L'habitat à la Martinique : un marché sous contrainte(s). Note expresse n°76*, mai 2010, [réf. du 18 septembre 2010].

[http://www.iedom.fr/IMG/pdf/ne76\\_l\\_habitat\\_a\\_la\\_martinique.pdf](http://www.iedom.fr/IMG/pdf/ne76_l_habitat_a_la_martinique.pdf)

DENISE, Christophe. *Une histoire évolutive de l'habitat martiniquais*. In *Situ, Revue des patrimoines*, mis en ligne en 2004, N°5 - Décembre 2004, [réf. du 17 septembre 2010]. URL : [http://www.insitu.culture.fr/article.xsp?numero=5&id\\_article=d5-528](http://www.insitu.culture.fr/article.xsp?numero=5&id_article=d5-528)

DURANCE, Philippe, MOUSLI, Marc. *Martinique 2025 : prospective pour un développement durable*. In *Territoires 2040*, mis en ligne en décembre 2010, N°2 - Prospective périurbaine et autres fabriques de territoires, [réf. du 17 décembre 2010].

URL : [http://territoires2040.datar.gouv.fr/IMG/pdf/t2040\\_n2\\_6durance\\_mousli.pdf](http://territoires2040.datar.gouv.fr/IMG/pdf/t2040_n2_6durance_mousli.pdf)

FOMOA-ADENET, Madly, RIEUTORT, Laurent. *Territoires ruraux insulaires et développement durable. Etudes caribéennes*, mis en ligne le 28 mai 2009, 11/2008, [réf. du 31 mars 2010].

URL : <http://etudescaribeennes.revues.org/document3454.html>

PELIS, Yoann, SAFFACHE, Pascal, RABELY VERGE-DEPRE, Colette. *Les facteurs à l'origine de la mise en place d'un Transport en Commun en Site Propre (TCSP) dans l'agglomération de Fort-de-France (Martinique)*. *Etudes caribéennes*, mis en ligne le 08 décembre 2007, [réf. du 31 mars 2010]. <http://etudescaribeennes.revues.org/1042>

LAJOIE, Gilles, HAGEN-ZANKER, Alex. *La simulation de l'étalement urbain à la Réunion : Apport de l'automate cellulaire Metronamica (r) pour la prospective territoriale*. *Cybergéo : European Journal of Geography*, [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, Document 405, mis en ligne le : 18 octobre 2007, [réf. du 28 janvier 2009]. URL : <http://www.cybergeo.eu/index11882.html>

MOULLET, Didier, SAFFACHE, Pascal, TRANSLER, Anne-Laure. *L'urbanisation caribéenne : effets et contrastes*. *Etudes caribéennes*, mis en ligne le 4 février 2008, 7/2007, [réf. du 31 mars 2010].

URL : <http://etudescaribeennes.revues.org/document342.html>

THINON, Pascal, MARTIGNAC, Cécile, METZGER, Pascale, CHEYLAN, Jean-Paul. *Analyse géographique et modélisation des dynamiques d'urbanisation à La Réunion*. *Cybergéo : European Journal of Geography*, [En ligne], Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2005, article 389, mis en ligne le 16 juillet 2007, modifié le 28 août 2007, [réf. du 13 mars 2009]. URL : <http://cybergeo.revues.org/index8692.html>

## ■ Communications dans un congrès

DUBOS-PAILLARD, Edwige, LANGLOIS, Patrice. *Modéliser et simuler l'évolution urbaine par automate cellulaire avec SpaCelle*. In : *Fabrique de la ville et mutations des formes d'urbanité*, Actes du 1er Colloque international de l'université des sciences et de la technologie d'Oran, Oran, 17-19 décembre 2005. 12 p.

DUBOS-PAILLARD, Edwige, LANGLOIS, Patrice. *De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle*. In : *Ontologie et dynamique des systèmes complexes, perspectives interdisciplinaires*, XVI èmes rencontres de Rochebrune - Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels , Rochebrune, du 19 au 23 janvier 2009. 16 p.

■ **Sites web consultés**

INED - institut national d'études démographiques. [Réf. du 05 mai 2010], [www.ined.fr](http://www.ined.fr)

# Annexes



# Annexe 1

## Sujet du mini-projet tutoré proposé (02/2010) - M1 SIIG3T

### Information géographique et simulation prospective : Changements d'occupation du sol en Martinique

#### Encadrement pédagogique :

Jean-Pierre Chéry, AgroParisTech, [chery@teledetection.fr](mailto:chery@teledetection.fr)

#### Nom du/des commanditaire(s) :

Organisme : UMR TETIS, Cemagref-Cirad-Engref/AgroParisTech, Montpellier  
Jean-Pierre Chéry, AgroParisTech, [chery@teledetection.fr](mailto:chery@teledetection.fr)

#### Objectif principal :

Appliquer un modèle de changement d'occupation du sol existant dans un contexte territorial insulaire : évaluer les données à utiliser et utilisables, faire tourner le modèle, discuter les résultats.

#### Domaine géographique :

Le mini-projet portera sur le territoire insulaire du département de la Martinique.

#### 1. Contexte :

Le département ultra-marin français qu'est la Martinique a des caractéristiques d'organisation territoriale marquées par l'insularité, les spécialités économiques (comme l'agriculture ou le tourisme), les risques naturels (volcanisme, cyclones), des contraintes sociodémographiques liées à une relation à une métropole lointaine. La densité de la population y est forte (plus de 350 hab./km<sup>2</sup> contre 112 hab./km<sup>2</sup> pour la métropole) et la croissance démographique indique une pression urbaine forte sur un espace exigu et très contraint (relief, accessibilité, etc.). Une partie des migrants partis en métropole au cours des dernières décennies arrivent à l'âge de la retraite et visent à retourner « au pays » et de plus en plus de métropolitains retraités envisagent une résidence principale « sous le soleil des tropiques » : les besoins en logements ne font que croître et sont en concurrence à une spéculation immobilière touristique consommatrice également d'espace. Par ailleurs, l'extension urbaine pavillonnaire combinée à un mode de vie où le jardin créole tient une place importante (agrément et source de produits alimentaires) soulève des questions de voisinage avec des espaces agricoles qui constituent une base d'activité importante économiquement et culturellement. Une cartographie de prospective spatiale, en termes de changement d'occupation des sols, est un outil intéressant pour accompagner les collectivités locales de ces territoires et pour communiquer auprès de la population sur les enjeux à moyen et long terme.

#### 2. Description et objectif du mini-projet tutoré :

Le travail proposé s'organise autour de deux aspects :

- une évaluation des données géographiques disponibles pour la Martinique et les besoins qui apparaissent : exhaustivité spatiale de l'occupation du sol ? à quelles dates ? précision de l'information ? Une formalisation des informations, dans la perspective de la modélisation des changements d'occupation du sol, pourra être menée (modèle de type « Diagramme UML » pourra être élaboré).
- une application d'un modèle préexistant : en utilisant la plate-forme logicielle Spacelle (développée par P. Langlois, Université de Rouen). Il s'agit d'appliquer ce modèle sur le territoire de la Martinique (1128 km<sup>2</sup>). Des données multi-dates permettent de définir des transitions possibles et privilégiées entre types d'occupation du sol. Celles-ci fournissent les bases d'un ensemble de règles de transition dans l'automate cellulaire que constitue Spacelle. Des simulations pourront être envisagées sur des portions de territoires ayant une information pertinente.

Selon le temps disponible et l'intérêt des étudiants, les aspects « programme informatique » ou « représentation cartographique » des résultats (cartographie multi-date ? animation ?)



pourront faire l'objet d'une réflexion complémentaire, en termes d'ergonomie et de mode de production cartographique.

### **3. Données & documents disponibles :**

#### **Données d'occupation du sol (couches SIG) :**

- Occupation du sol, 1970, IRD
- Occupation du sol, 1980, IRD
- Occupation du sol, équipements, bâti - 1994, IGN (BD Topo)
- Occupation du sol, équipements, bâti - 2000, IGN (BD Topo)
- Sole agricole, 2006, CNASEA, DAF 972
- Courbes de niveau et points côtés - 2000, IGN (BD Topo)

#### **Logiciels :**

- Logiciel SIG (préparation des couches d'information géographique d'occupation du sol pour alimenter le modèle) : ArcGis 9.3 ou autre permettant de produire des fichiers shp et txt grid.
- Logiciel Spacelle (logiciel libre, soumis à droit d'auteur) sur MS Windows : Version 5.2

#### **Bibliographie :**

■ Edwige Dubos-Paillard, Yves Guermond, Patrice Langlois, Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle Spacelle, Laboratoire MTG-Rouen, <http://www.univ-rouen.fr/MTG/fiches/langloisPDF/SpaCelle%20-%20%20para%EEtre%20dans%20L'Espace%20G%20E9ographique.pdf>

■ Laurent Crotet, 2007, Simulation de l'étalement urbain autour du bassin de Thau dans le cadre de l'élaboration du SCOT de Thau, mémoire d'ingénieur, DAA, Montpellier, Sup'Agro, Cemagref, 100 pages.

■ Edwige Dubos-Paillard, Patrice Langlois, 2009, « De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle », Journées de Rochebrune 2009, Ontologie et dynamique des systèmes complexes, perspectives interdisciplinaires, 16 pages.

■ RIKS bv, 2002, XPlorah, The Spatial Decision Support System for Puerto Rico, Maastricht, 17 pages <http://www.riks.nl/RiksGeo/projects/xplorah/XplorahBrochurePrint.pdf>

■ White Roger, Engelen Guy, Modeling 2000, "Modelling land use change with linked cellular automata and socio-economic models: a tool for exploring the impact of climate change on the island of St Lucia", in Spatial Information for Land Use Management Eds M J Hill, R J Aspinall (Gordon and Breach, Amsterdam) pp 189-204

■ Erwann Lagabrielle, 2003, Télédétection des changements et SIG – Application à l'évolution des modes d'occupation des sols à la Réunion entre 1989 et 2002, mastère SILAT, AgroParisTech, Sup'Agro, projet TEMOS

■ Cécile Martignac, 2006, Maintien d'une filière dominante ou projet de territoire : le cas du sucre à La Réunion, Thèse, Cirad, Université Paul Valéry

## Annexe 2

# Liste des fonctions disponibles dans SpaCelle et syntaxe des règles

### ■ Fonctions d'interaction continues à valeurs dans [0,1]

où Y représente une population de un ou plusieurs états  $Y=Y_1+Y_2+..+Y_n$

PV(Y;R)	proportion de présence de la population Y dans le rayon R
PV(Y;R;Min;Max)	1 si proportion de présence de Y dans [Min;Max]
AV(Y;R)	proportion de non-présence de Y dans le rayon R
AV(Y;R;Min;Max)	1 si proportion de non-présence de Y est dans [Min;Max]
AC(Y;R)	accessibilité aux états de Y selon un demi-effet à distance R
AC(Y;R;Min;Max)	accessibilité aux états de Y selon un demi-effet à distance R
BA(Y;R)	barrière aux états de Y selon un rayon R
BA(Y;R;Min;Max)	barrière aux états de Y selon un rayon R

### ■ Fonctions d'interaction binaires (0 ou 1)

EV(Y;R)	1 s'il existe au moins un individu de Y dans le voisinage de rayon R
RV(Y;R)	1 si le voisinage de rayon R est remplis de Y
ZV(Y;R)	1 s'il n'existe aucun individu de Y dans le voisinage de rayon R
NV(Y;R;n)	1 si le nbr de voisins égal à n
NV(Y;R;nMin;nMax)	1 si le nbr de voisins est compris entre nMin et nMax
SV(Y;R;n)	1 si le nbr de voisins est différent de n
SV(Y;R;nMin;nMax)	1 si le nbr de voisins n'est pas compris entre nMin et nMax

### ■ Fonctions événementielles et aléas:

EP(n)	Événement Programmé au bout de n années (T=n):
EP(n;d)	Événement Programmé en T=n , selon une durée fixe de d ans.
EP(n;d;e)	Événement Programmé en T=n , selon une durée gaussienne (d,e)
AL(n)	Aléa, vaut 1 en moyenne n fois par unité de temps, sinon vaut 0
AL(n;d)	Aléa, vaut 1 en moyenne n fois par durée de d unités de temps
AL(n;d;e)	Donne 1 en moyenne n fois par période moyenne de d unités de temps, et d'écart-type e

### ■ Fonctions démographiques:

DE(Y)	densité : calcule la densité d de la population Y dans le domaine
DE(Y; Max)	donne un taux de croissance d'asymptote Max, vaut 1 si d = 0 et tend vers 0 si d -> max
DE(Y;Min;Max)	donne 1 si la densité de Y est dans l'intervalle [Min;Max], 0 sinon

### ■ Pour définir la durée de vie:

DI	durée de vie infinie
DF(d)	durée fixe de d années
DA(d;e)	durée aléatoire d'espérance d et d'écart-type e

(Source : Langlois, 2007)

## Annexe 3

# Les règles de transition du modèle Spacelle

(Source : Crotet, 2007)

### Règle 1 :

**agri>hind=PV(hind+act;2;0,7;1)\*ZV(rte;1)\*EV(rte;4)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé à plus de 70% d'habitat individuel ou de d'activités isolées, qu'il existe une route principale dans un rayon de 400m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction ni de route dans les 100m.

### Règle 2 :

**agri>hind=PV(hind+ch+hcol;3;0,5;1)\*AC(ch;20)\*ZV(za;3)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage (300m) est composé pour moitié au moins d'habitat individuel ou collectif ou du centre historique, que celui ci est bien accessible et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction ni de zone d'activité dans les 300m.

### Règle 3 :

**agri>hind=PV(hind+ch+hcol;2;0,5;1)\*AC(gar;20)\*EV(rte;5)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé pour moitié au moins d'habitat individuel ou collectif ou du centre historique, qu'une gare est bien accessible, qu'une route principale est présente dans les 500m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

### Règle 4 :

**agri>hind=PV(hind+act;2;0,5;1)\*AC(ch;15)\*EV(ech;30)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé pour moitié au moins d'habitat individuel ou d'une activité isolée, que le centre historique est bien accessible, qu'un échangeur autoroutier est présent dans les 3km et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

### Règle 5 :

**agri>za=AC(ech;3)\*AC(ch;5)\*ZV(za;10)\*NV(za;10;0;15)\*AC(aut;2)\*EV(hind;11)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient zone d'activité lorsqu'un échangeur autoroutier ou l'autoroute elle-même sont facilement accessibles, que le centre historique est proche, lorsqu'il n'y a pas d'autre zone d'activité dans le kilomètre à l'entour, qu'il existe de l'habitat individuel dans les 1100m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

### Règle 6 :

**agri>za=AC(ech;3)\*AC(ch;5)\*EV(za;2)\*NV(za;11;0;15)\*AC(aut;2)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient zone d'activité lorsqu'un échangeur autoroutier ou l'autoroute elle-même sont facilement accessibles, que le centre historique est proche, lorsqu'il y a une autre zone d'activité dans les 200m alentours qui toutefois ne dépasse pas 15 hectares de superficie et enfin qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

**Règle 7 :**

**agri>za=AC(ech;3)\*AC(ch;5)\*EV(za;2)\*NV(za;11;0;15)\*EV(rte;3)\*ZV(cont;1)**

La règle 7 est identique à la règle 6, à la différence près qu'une route principale doit se trouver dans les 300m.

**Règle 8 :**

**agri>za=NV(za;2;4;8)\*NV(za;8;0;15)\*ZV(cont;1)**

Cette règle concerne la croissance des zones d'activités, la taille est ainsi limitée à 8ha dans un rayon de 200m autour de la cellule concernée et à 15ha dans les 800m.

**Règle 9 :**

**agri>cco=EV(rte;2)\*PV(hind+za+act;25;0,12;1)\*NV(cco;100;0;10)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient centre commercial lorsqu'il existe une route principale à proximité directe du site (200m), que le voisinage est composé de 12% à 100% d'habitat individuel, de zone d'activité ou d'activité isolée. Il ne doit pas exister plus de 10ha construits en zone commerciale dans un rayon de 10km, ni de contrainte à la construction.

**Règle 10 :**

**znat>hind=PV(hind+act;2;0,4;1)\*ZV(rte;1)\*EV(rte;4)\*ZV(cont;1)**

L'espace naturel devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé à plus de 40% d'habitat individuel ou de d'activités isolées, qu'il existe une route principale dans un rayon de 400m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction ni de route dans les 100m.

**Règle 11 :**

**znat>hind=PV(hind;5;0,4;1)\*AC(ch;15)\*ZV(za;3)\*ZV(cont;1)**

L'espace naturel devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage (500m) est composé d'au moins 40% d'habitat individuel, que le centre historique est bien accessible et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction ni de zone d'activité dans les 300m.

**Règle 12 :**

**znat>hind=PV(hind;2;0,3;1)\*AC(gar;20)\*EV(rte;5)\*ZV(cont;1)**

L'espace naturel devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé à 30% au moins d'habitat individuel, qu'une gare est bien accessible, qu'une route principale est présente dans les 500m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

**Règle 13 :**

**znat>hind=PV(hind+act;2;0,3;1)\*AC(ch;15)\*EV(ech;30)\*ZV(cont;1)**

L'espace naturel devient de l'habitat individuel lorsque le voisinage proche (200m) est composé à 30% au moins d'habitat individuel ou d'une activité isolée, que le centre historique est bien accessible, qu'un échangeur autoroutier est présent dans les 3km et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction.

**Règle 14 :**

**znat>za=NV(za;2;4;8)\*NV(za;8;0;15)\*ZV(cont;1)**

Cette règle concerne la croissance des zones d'activités, la taille est ainsi limitée à 8ha dans un rayon de 200m autour de la cellule concernée et à 15ha dans les 800m.

**Règle 15 :**

**znat>cco=EV(rte;2)\*PV(hind+za+act;25;0,12;1)\*NV(cco;100;0;10)\*ZV(cont;1)**

L'espace naturel devient centre commercial lorsqu'il existe une route principale à proximité directe du site (200m), que le voisinage (2,5km) est composé d'habitat individuel, de zone d'activité ou d'activité isolée. Il ne doit pas exister plus de 10ha construits en zone commerciale dans un rayon de 10km, ni de contrainte à la construction.

**Règle 16 :**

**hind>hcol=AL(75;5)\*EV(ch;10)**

Cette règle a pour but de représenter la densification de l'habitat dans les zones proches d'un centre historique, ainsi 75 cellules d'habitat individuel deviennent de l'habitat collectif de façon aléatoire tous les 5 ans, à condition que le centre historique se situe dans un rayon d'un kilomètre.

**Règle 17 :**

**agri>hind=AL(75;5)**

75 cellules de terres agricoles deviennent de l'habitat individuel tous les 5 ans, de façon aléatoire.

**Règle 18 :**

**agri>hind=EV(ch;6)\*ZV(za;4)\*ZV(cont;1)**

La terre agricole devient de l'habitat individuel lorsque le centre historique se trouve dans les 600m et qu'il n'existe pas de contrainte à la construction ni de zone d'activité dans les 400m.

## **Annexe 4**

# **Cartes thématiques d'analyse et résultats du modèle**



Figure 36 : Les communes et les trois intercommunalités de la Martinique

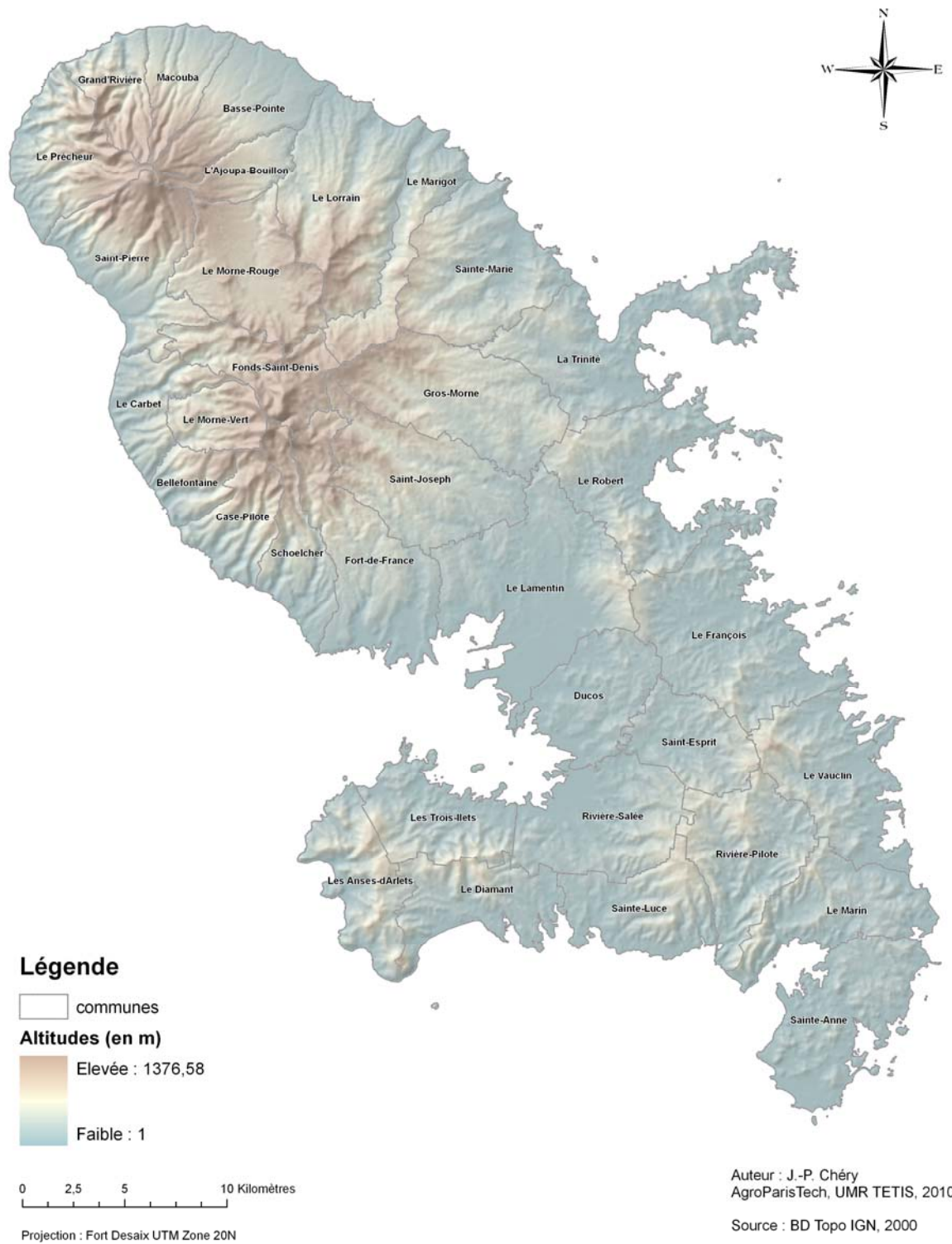


Figure 37 : Relief de la Martinique



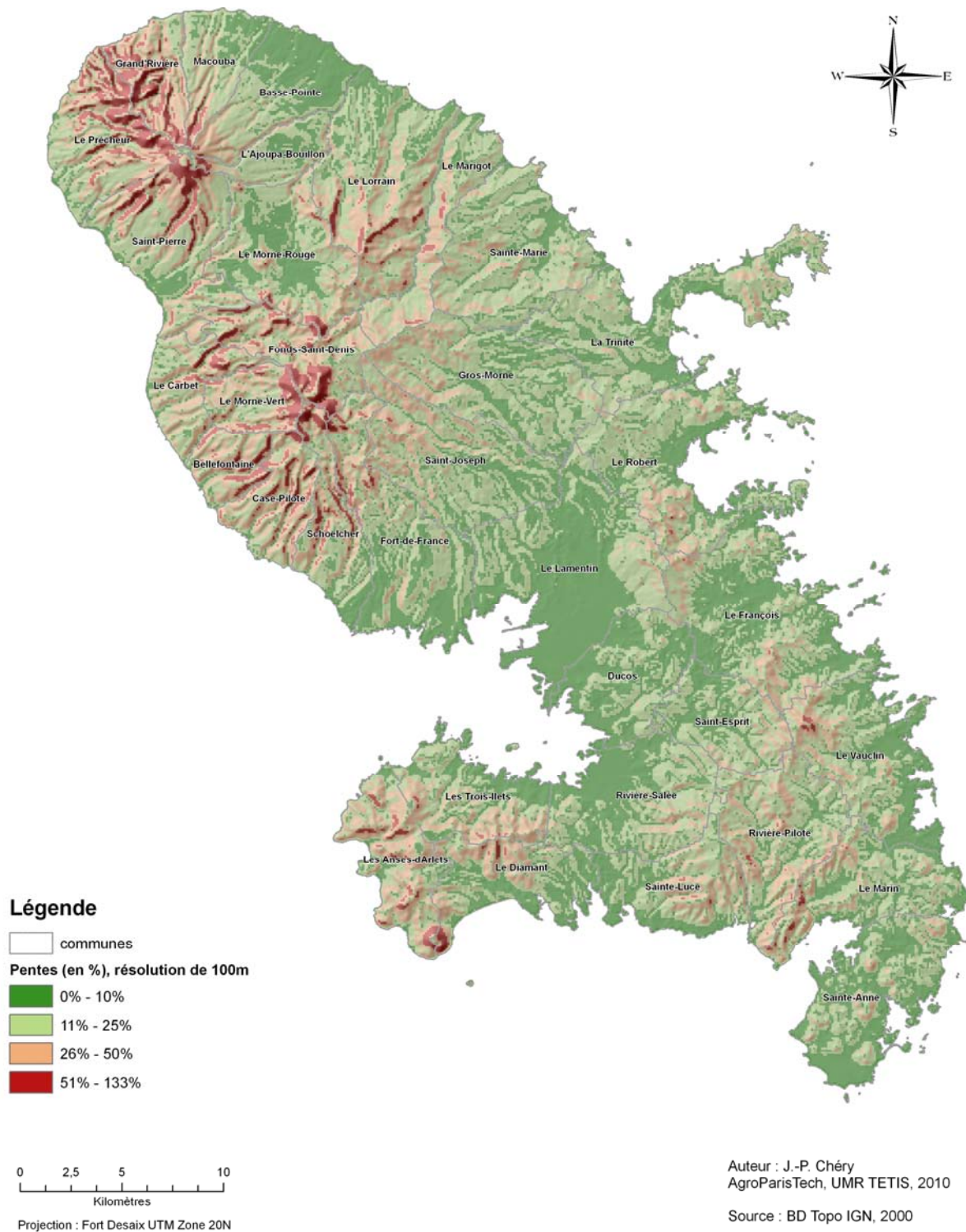


Figure 38 : Classes de pentes, Martinique

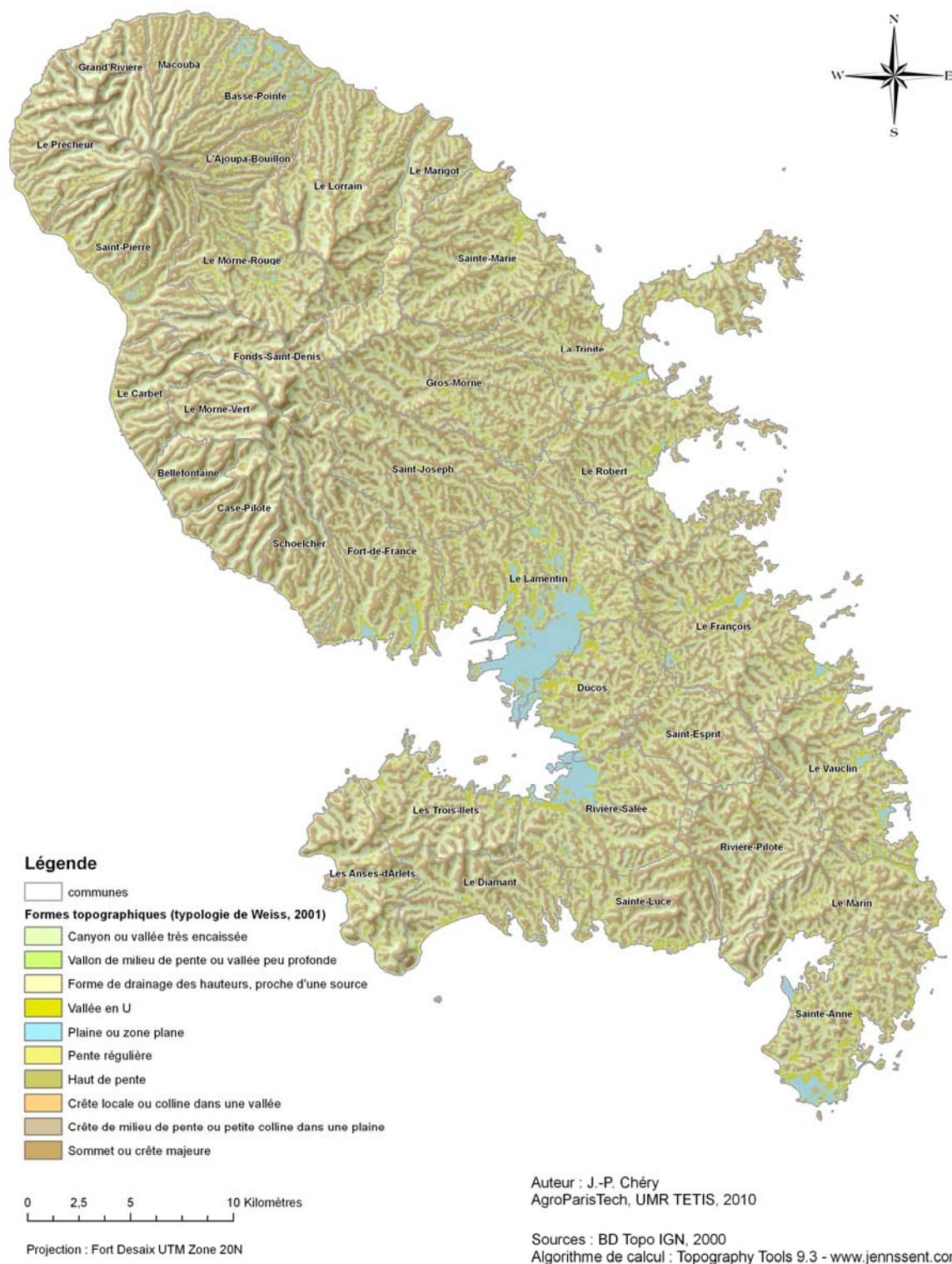


Figure 39 : Types de formes topographiques de la Martinique

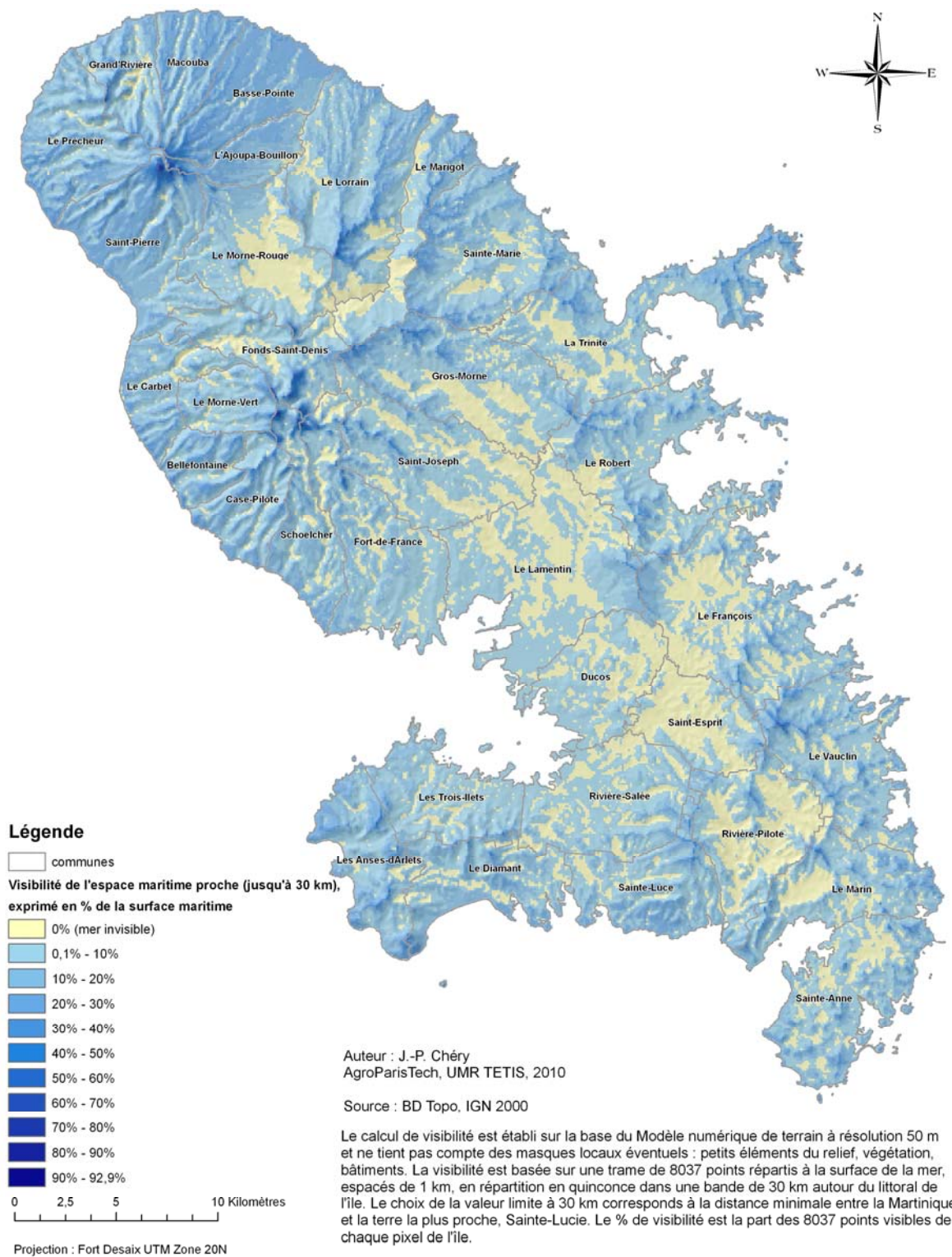


Figure 40 : Visibilité de la mer depuis le relief de la Martinique

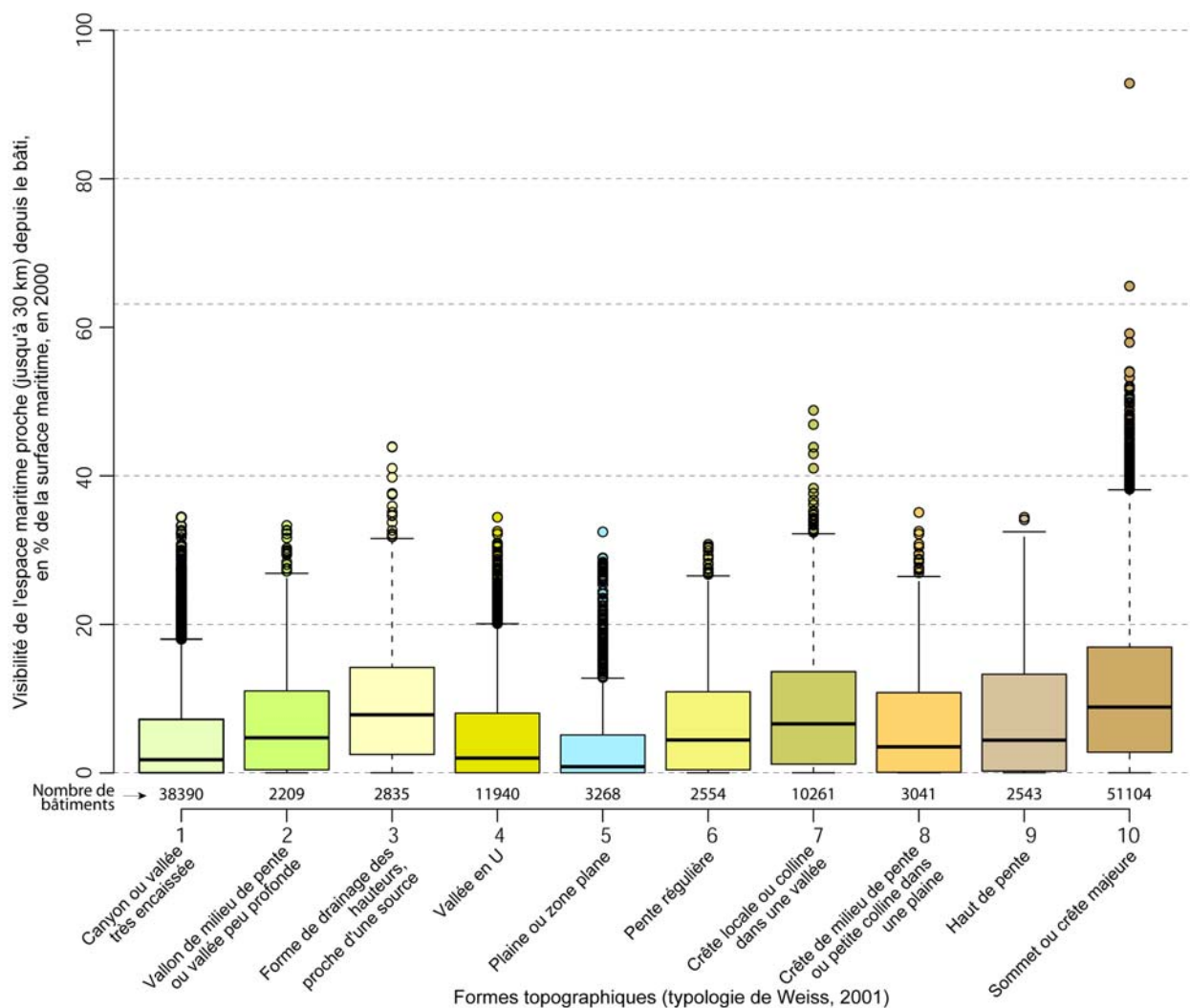
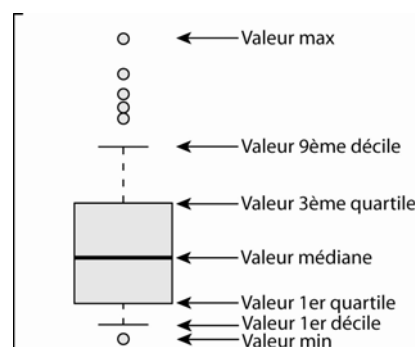


Figure 41 : la tache urbaine en 2000 selon la visibilité de la mer et les types topographiques de la Martinique

Ce graphique par « boîtes à moustaches » présente la distribution du bâti en 2000 (128.189 éléments, d'après la BD Topo IGN 2000, en classe « bâtiments quelconques ») entre la position topographique et le degré de visibilité de la surface maritime pour chacun d'eux. 17,76% du bâti n'a aucune vue sur la mer (en position au sol et sans considérer les éléments locaux qui masquent la vue : micro-reliefs, végétation, etc.). Evidemment, la position en « Sommet ou crête majeure » fournit les visibilités les plus importantes (un quart des 51104 bâtiments en position de sommet et de crête - soit 12776 - ont une visibilité maritime de plus de 16,93%). Le quart des bâtiments des types topographiques canyon ou vallée très encaissée, vallée en U et

plaine ou zone plane n'ont aucune vue sur la mer : leur 1<sup>er</sup> quartile respectif est aligné sur la base de l'ordonnée, à 0%.

Attention, ce graphique n'est pas pondéré visuellement par la population de bâtiments par classe (voir le nombre de bâtiments indiqué sur la ligne d'abscisse). Ci-dessous, le mode de lecture du graphique :



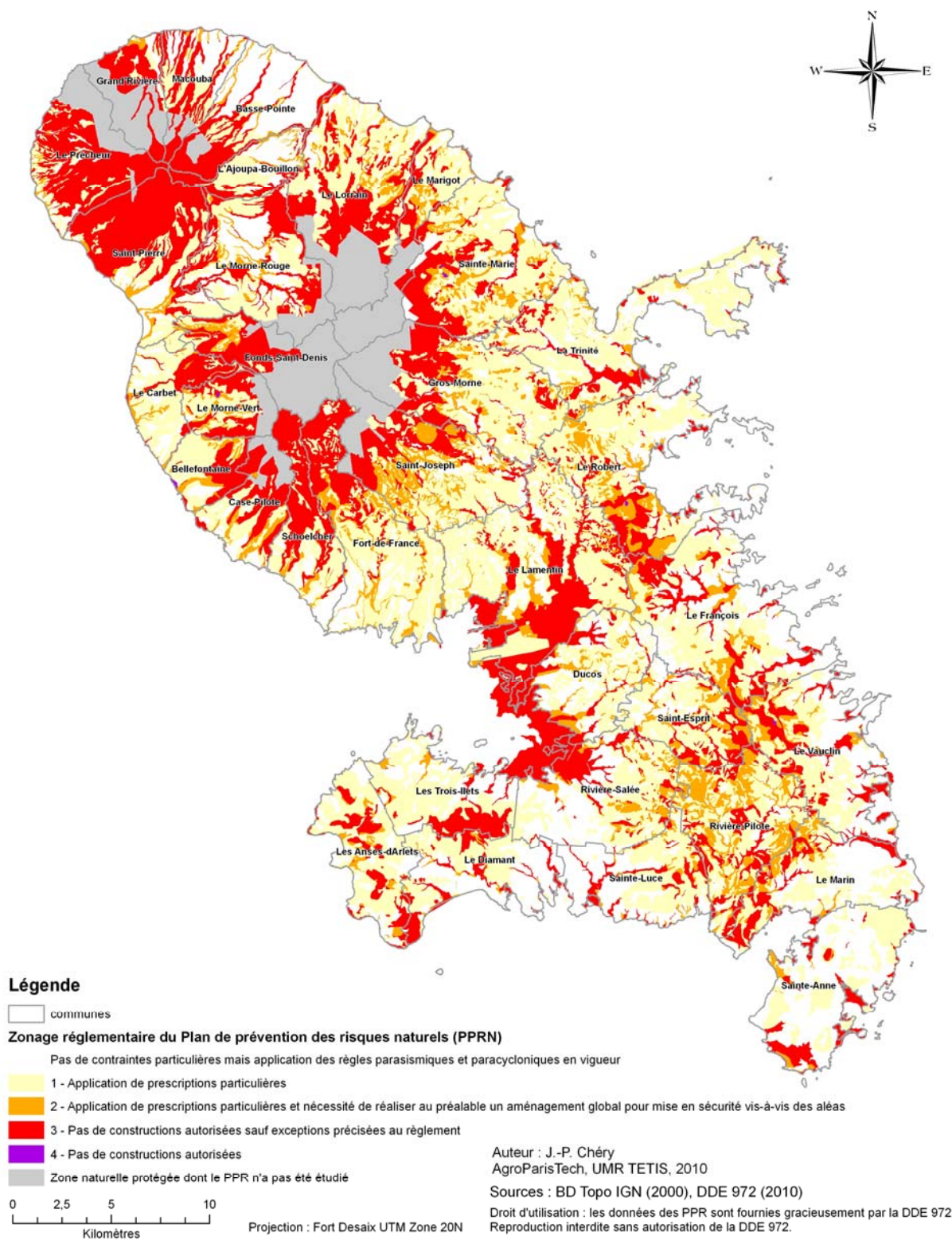


Figure 42 : Zonage réglementaire des Plans de Préventions des Risques approuvés en 2004, dans les communes de la Martinique (source : DDE 972)

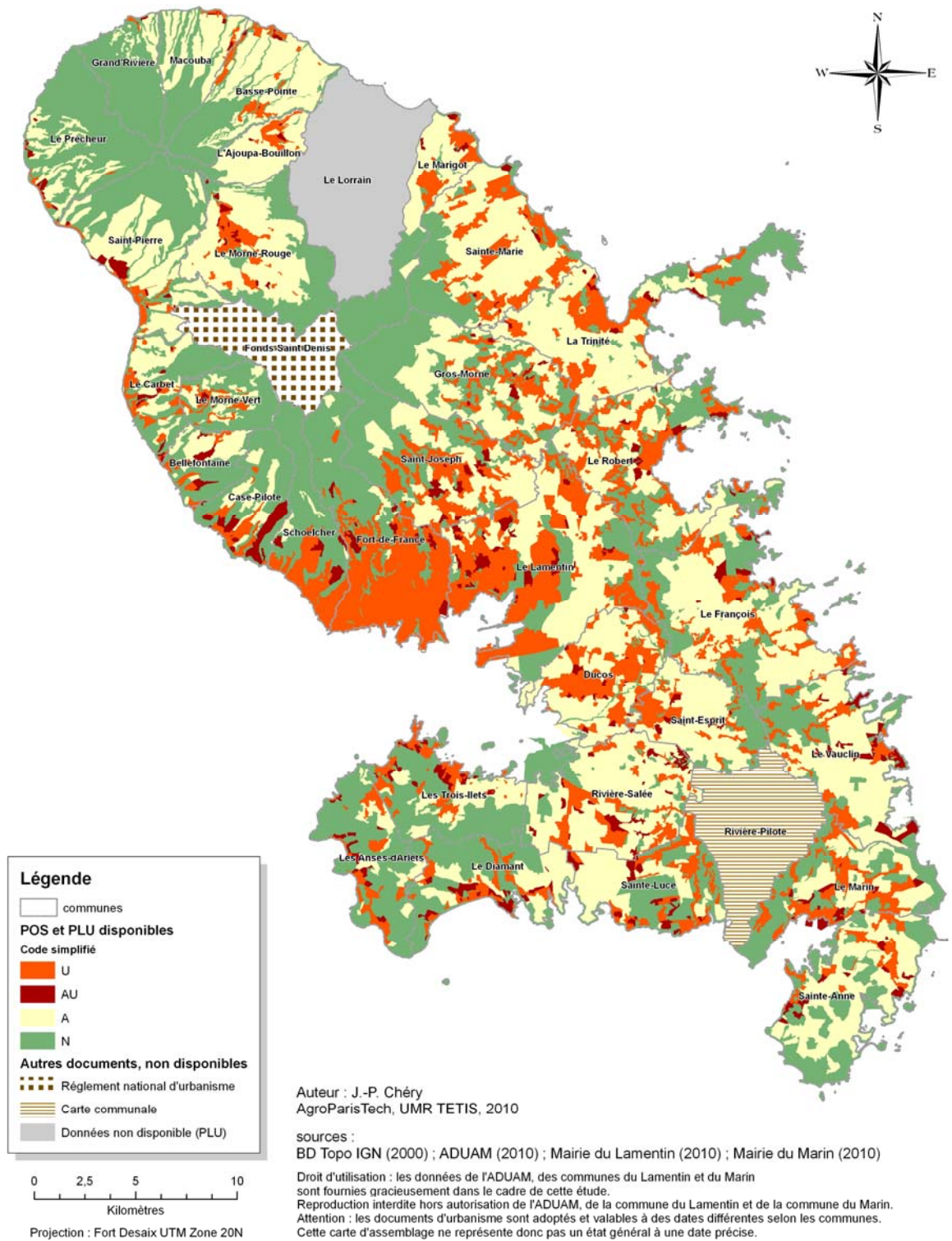


Figure 43 : Assemblage des zonages des POS et PLU en vigueur dans les communes de la Martinique, en 2010 (source : ADUAM)

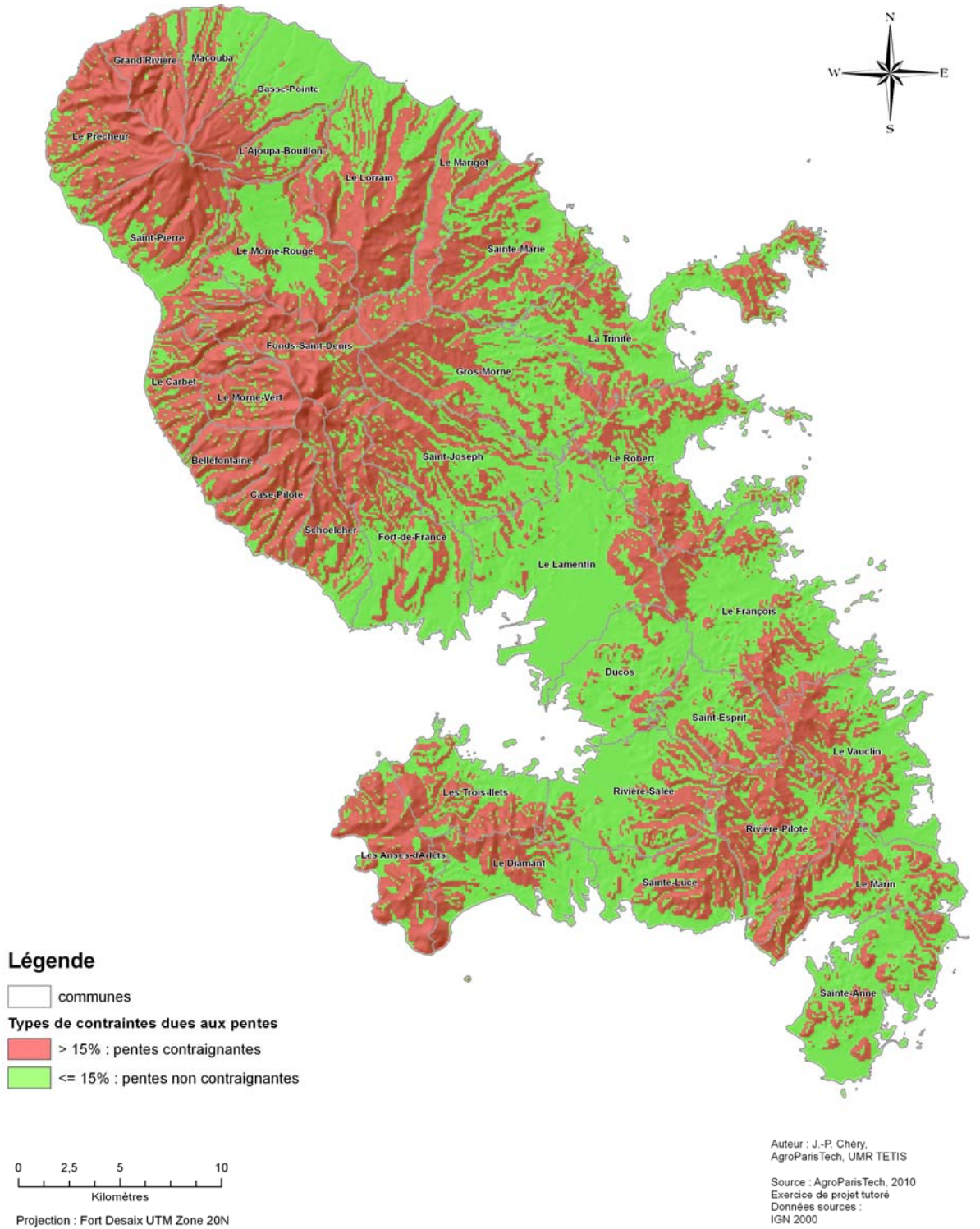


Figure 44 : Zonage des contraintes dues aux pentes

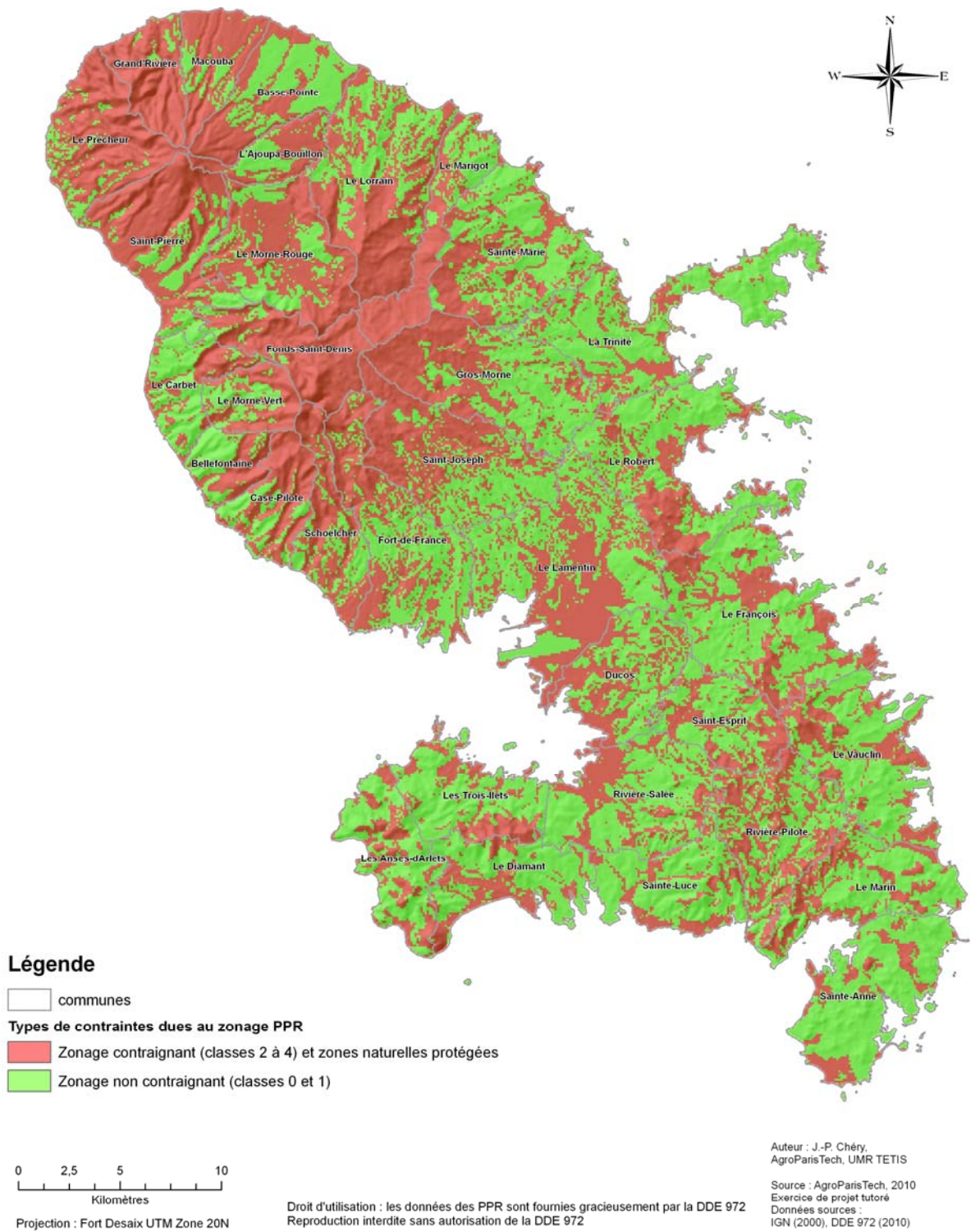


Figure 45 : Zonage des contraintes dues aux Plan de prévention des risques (source : DDE 972, 2010)



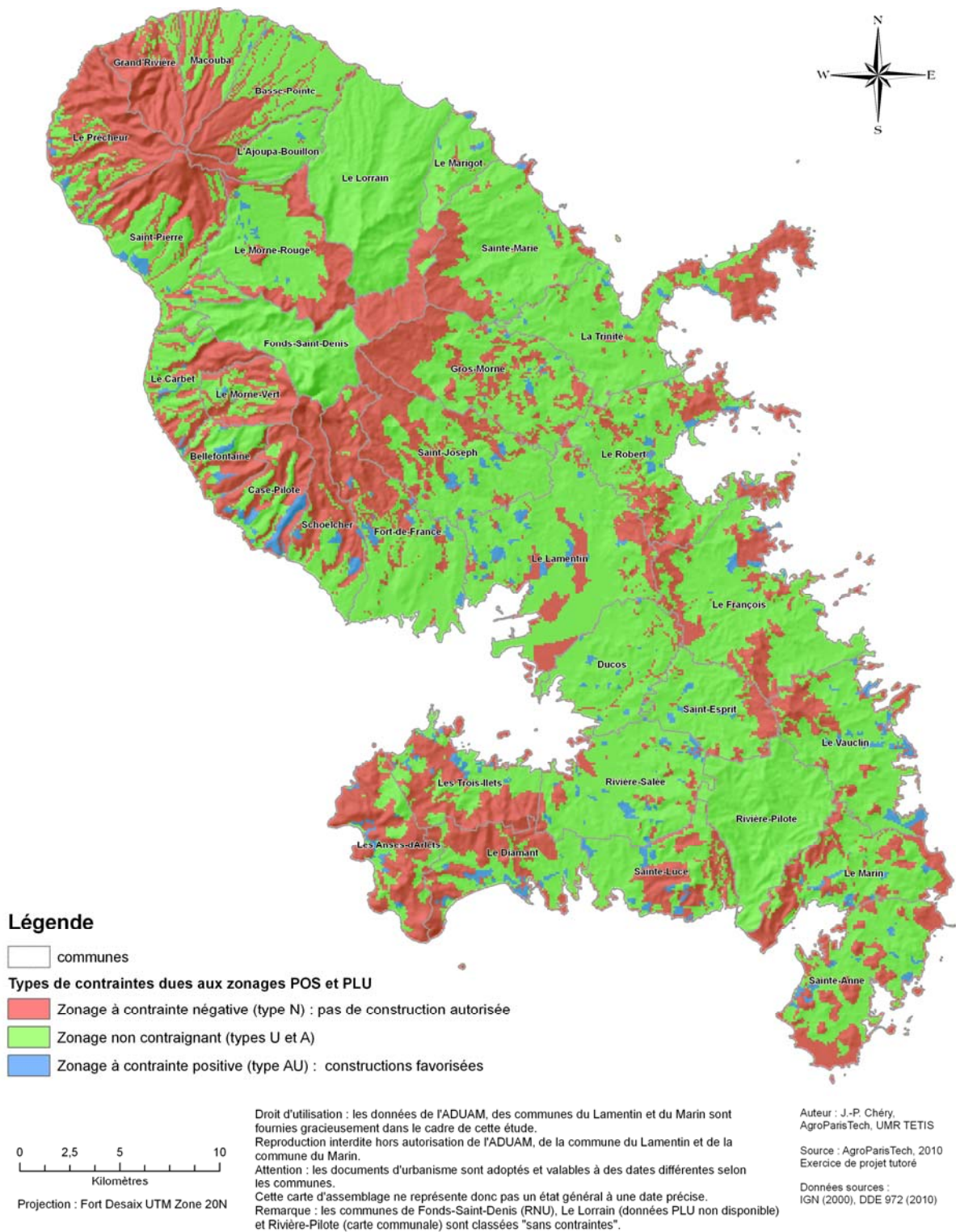


Figure 46 : Contraintes dues aux zonages des POS et PLU (source : ADUAM, 2010)

1994 \ 2000	Surfaces en eau	Centres historiques	Habitat collectif	Habitat individuel	Zones d'activités	Centres commerciaux	Port principal	Espace agricole	Equipements publics	Activités isolées	Espace naturel	Total en 1994
Surfaces en eau	219							4				223
Centres historiques		186										186
Habitat collectif			98			1						99
Habitat individuel				9714				300			140	10154
Zones d'activités					84							84
Centres commerciaux						60						60
Port principal							46					46
Espace agricole	1			1635				38166			5199	45001
Equipements publics									14			14
Activités isolées										786	910	1696
Espace naturel								3872			47184	51056
<b>Total en 2000</b>	<b>220</b>	<b>186</b>	<b>98</b>	<b>11349</b>	<b>84</b>	<b>61</b>	<b>46</b>	<b>42342</b>	<b>14</b>	<b>786</b>	<b>53433</b>	<b>108619</b>

Figure 47 : Matrice de transition des types d'occupation du sol entre 1994 et 2000

2000 \ 2025	Surfaces en eau	Centres historiques	Habitat collectif	Habitat individuel	Zones d'activités	Centres commerciaux	Port principal	Espace agricole	Equipements publics	Activités isolées	Espace naturel	Total en 2000
Surfaces en eau	220											220
Centres historiques		186										186
Habitat collectif			98									98
Habitat individuel			9	12250								12259
Zones d'activités					84							84
Centres commerciaux						61						61
Port principal							46					46
Espace agricole				1151	74	300		40817				42342
Equipements publics									14			14
Activités isolées										786		786
Espace naturel				552	3	55					51913	52523
<b>Total en 2025</b>	<b>220</b>	<b>186</b>	<b>107</b>	<b>13953</b>	<b>161</b>	<b>416</b>	<b>46</b>	<b>40817</b>	<b>14</b>	<b>786</b>	<b>51913</b>	<b>108619</b>

Figure 48 : Matrice de transition des types d'occupation du sol entre 2000 et 2025 (scénario 1 : sans évolution du réseau routier)

2000 \ 2025	Surfaces en eau	Centres historiques	Habitat collectif	Habitat individuel	Zones d'activités	Centres commerciaux	Port principal	Espace agricole	Equipements publics	Activités isolées	Espace naturel	Total en 2000
Surfaces en eau	220											220
Centres historiques		186										186
Habitat collectif			98									98
Habitat individuel			7	12252								12259
Zones d'activités					84							84
Centres commerciaux						61						61
Port principal							46					46
Espace agricole				1167	326	300		40549				42342
Equipements publics									14			14
Activités isolées										786		786
Espace naturel				576	9	55					51883	52523
<b>Total en 2025</b>	<b>220</b>	<b>186</b>	<b>105</b>	<b>13995</b>	<b>419</b>	<b>416</b>	<b>46</b>	<b>40549</b>	<b>14</b>	<b>786</b>	<b>51883</b>	<b>108619</b>

Figure 49 : Matrice de transition des types d'occupation du sol entre 2000 et 2025 (scénario 2 : avec évolution du réseau routier)

Scen.1 \ Scen.2	Surfaces en eau	Centres historiques	Habitat collectif	Habitat individuel	Zones d'activités	Centres commerciaux	Port principal	Espace agricole	Equipements publics	Activités isolées	Espace naturel	Total scénario 1
Surfaces en eau												0
Centres historiques												0
Habitat collectif												0
Habitat individuel			-2	+2								0
Zones d'activités												0
Centres commerciaux												0
Port principal												0
Espace agricole				+16	+252			-268				0
Equipements publics												0
Activités isolées												0
Espace naturel				+24	+6						-30	0
<b>Total scénario 2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>+42</b>	<b>+258</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-268</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-30</b>	<b>0</b>

Figure 50 : Matrice des différences des surfaces simulées en 2025 pour les types d'occupation du sol des scénarios 1 et 2

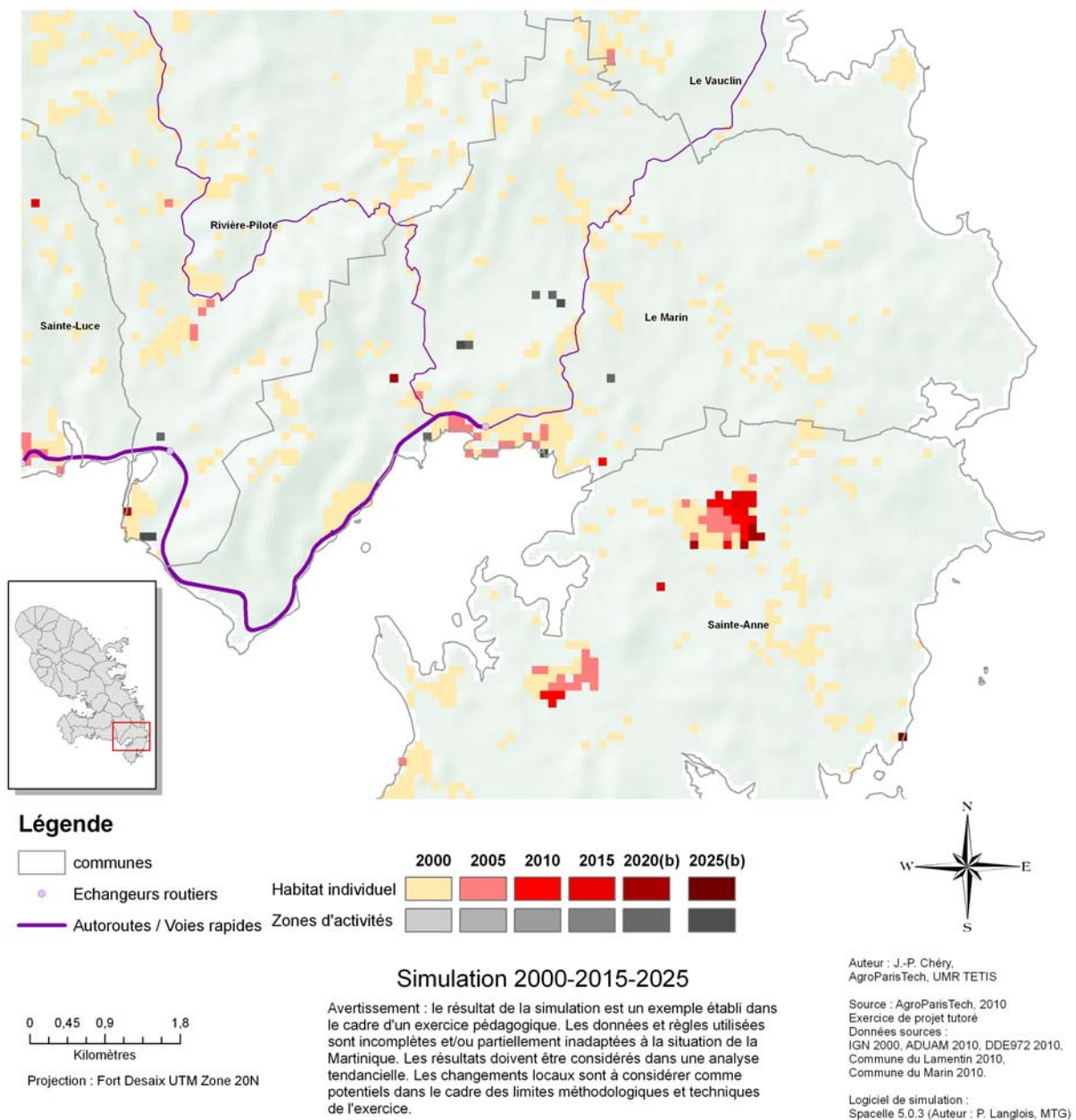


Figure 51 : Changement d'occupation du sol sur la baie du Marin - Habitat individuel et zones d'activités, simulation 2000-2025, avec évolution du réseau routier

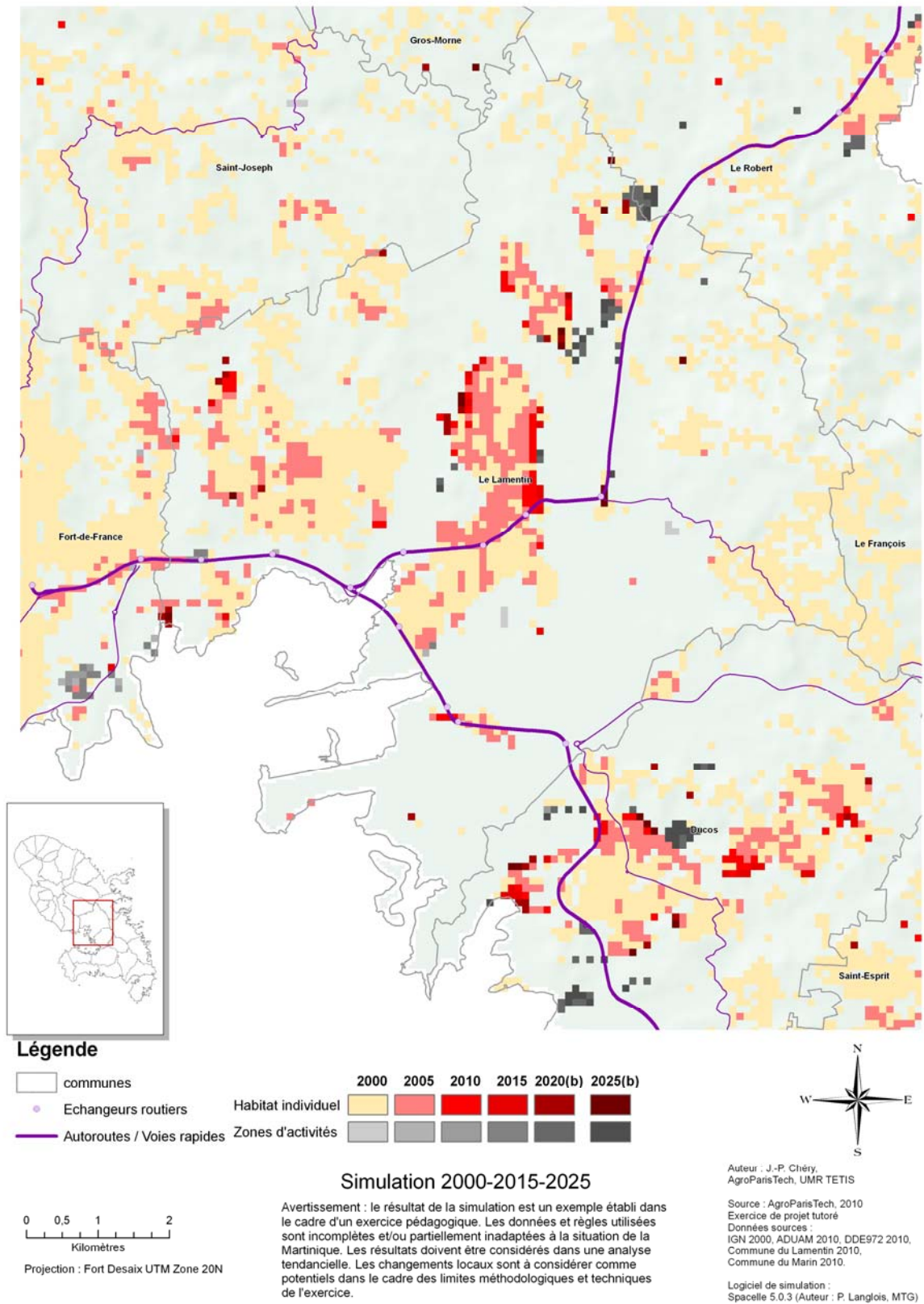


Figure 52 : Changement d'occupation du sol sur la commune du Lamentin - Habitat individuel et zones d'activités, simulation 2000-2025, avec évolution du réseau routier

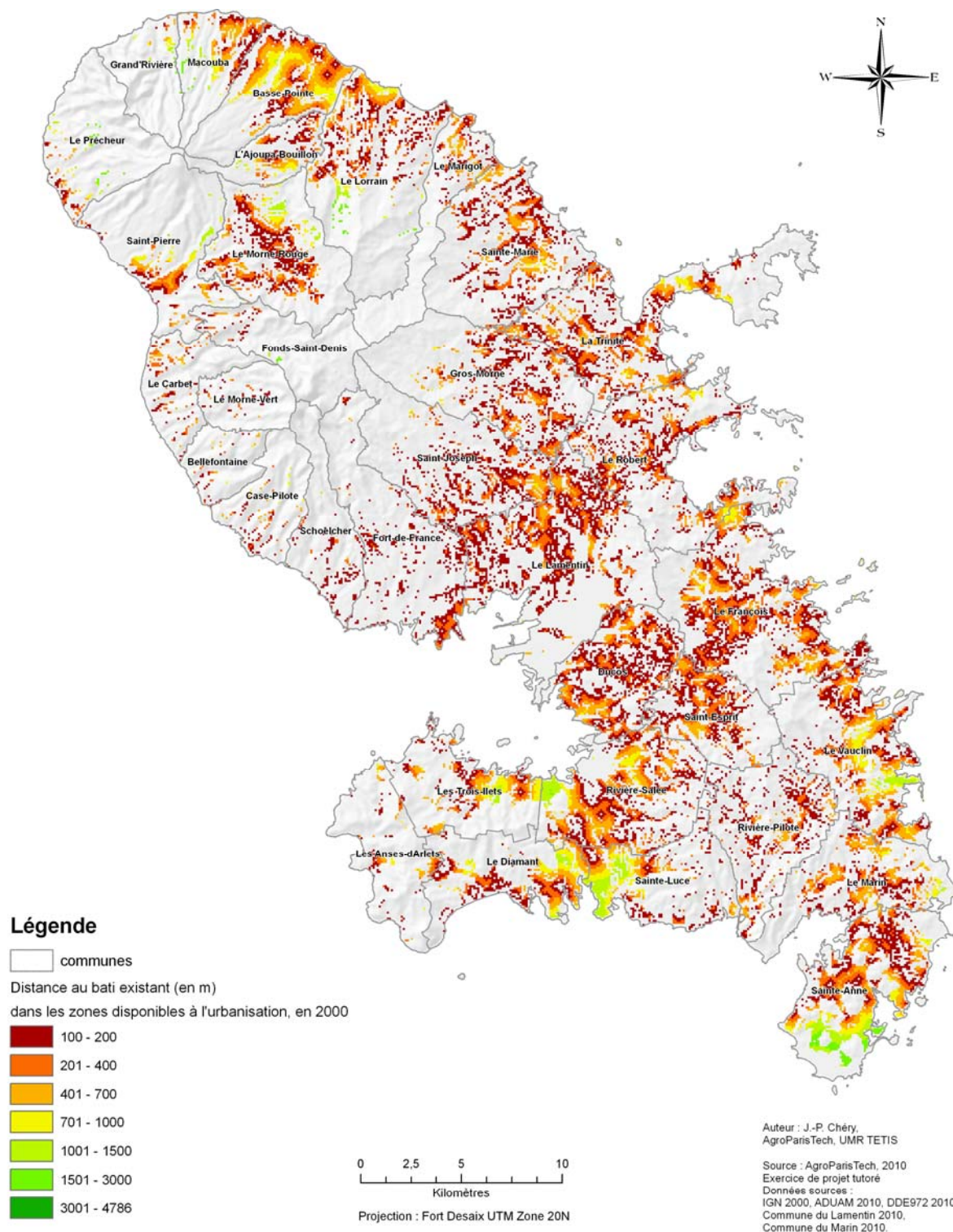


Figure 53 : Les espaces disponibles à l'urbanisation à partir de 2000, selon leur distance aux franges urbaines existante à cette date



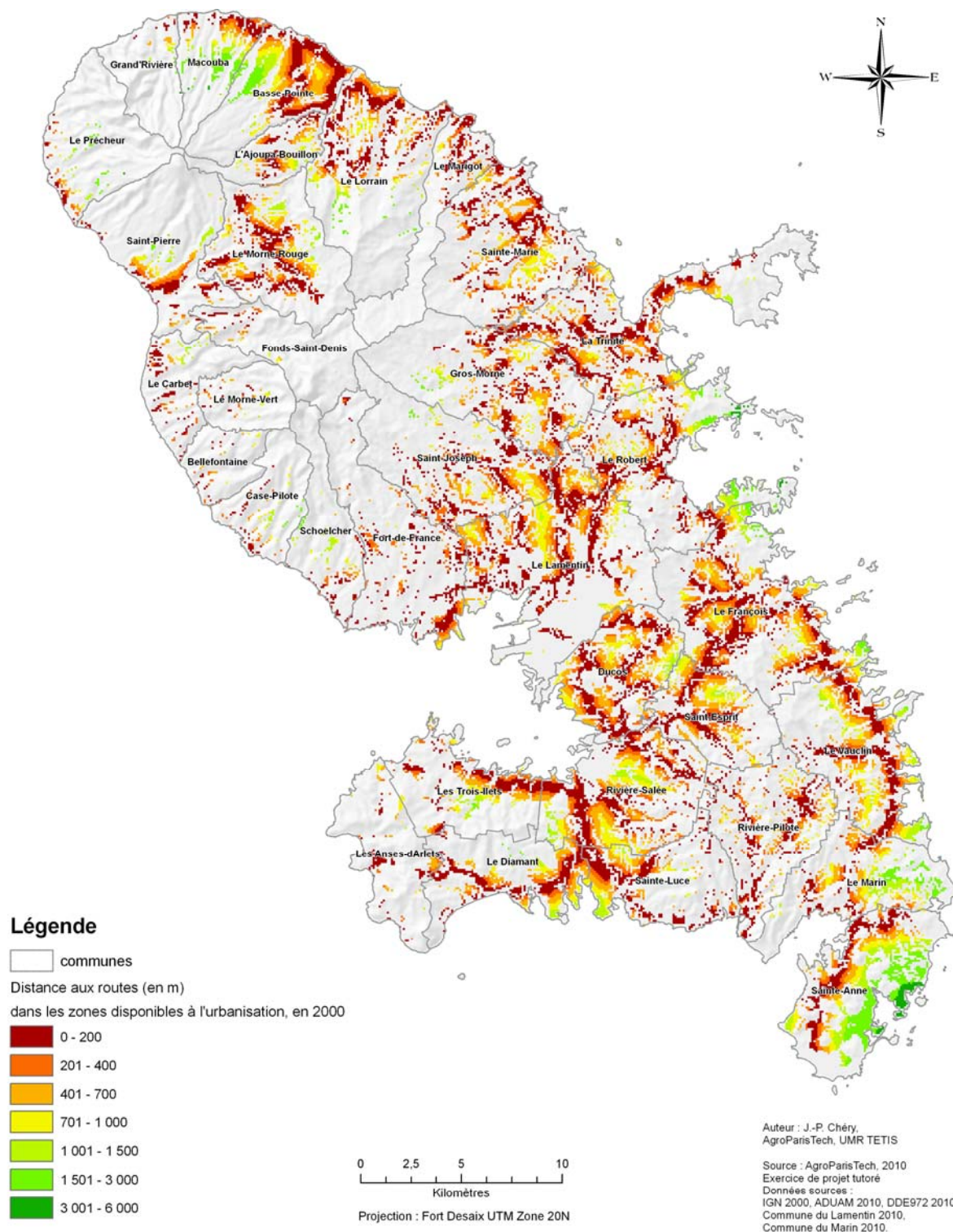


Figure 54 : Les espaces disponibles à l'urbanisation à partir de 2000, selon leur distance au réseau routier principal existant à cette date

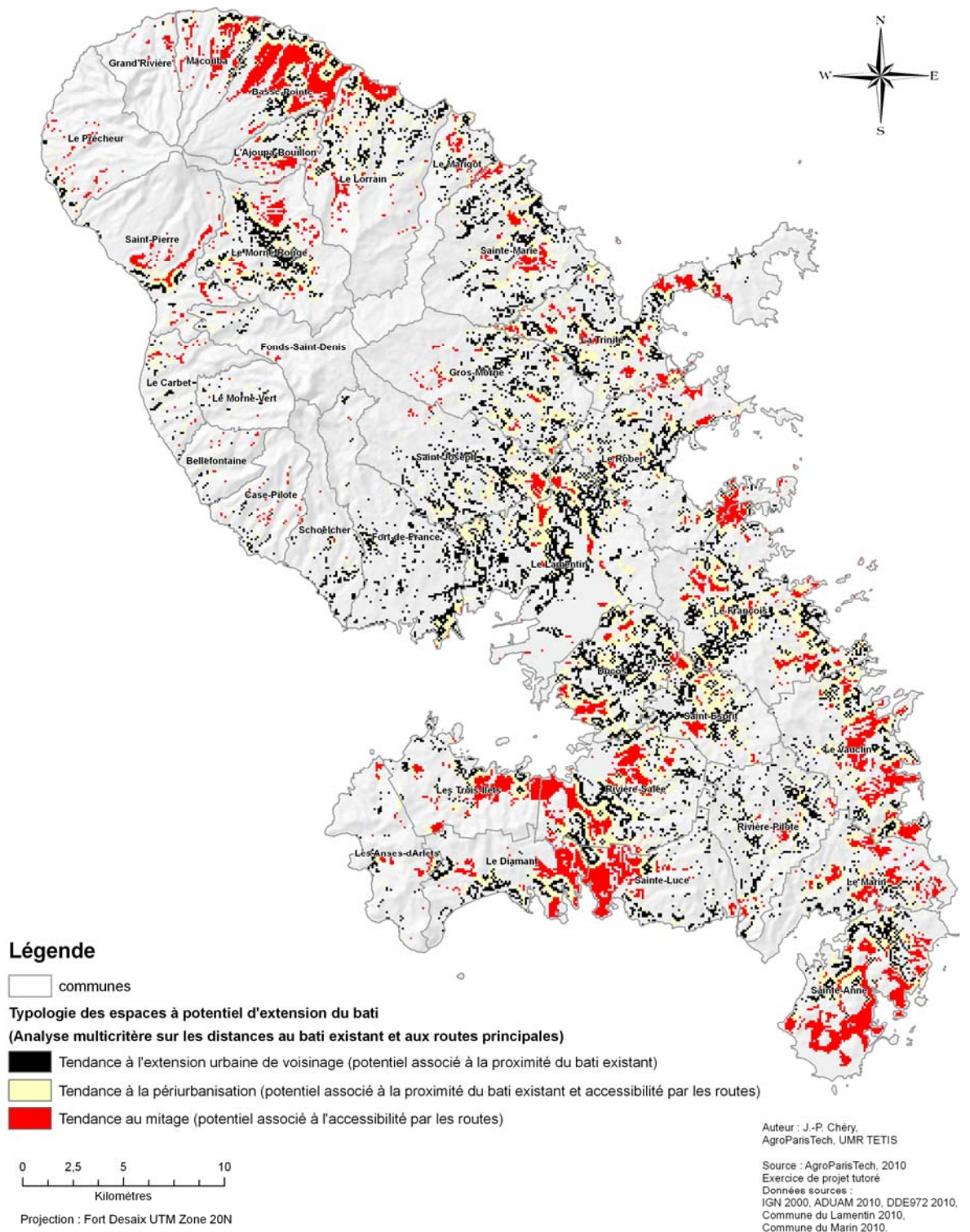


Figure 55 : Types de potentiels d'extension du bâti dans les espaces disponibles, selon les critères des distances au bâti en 2000 et au réseau routier principal

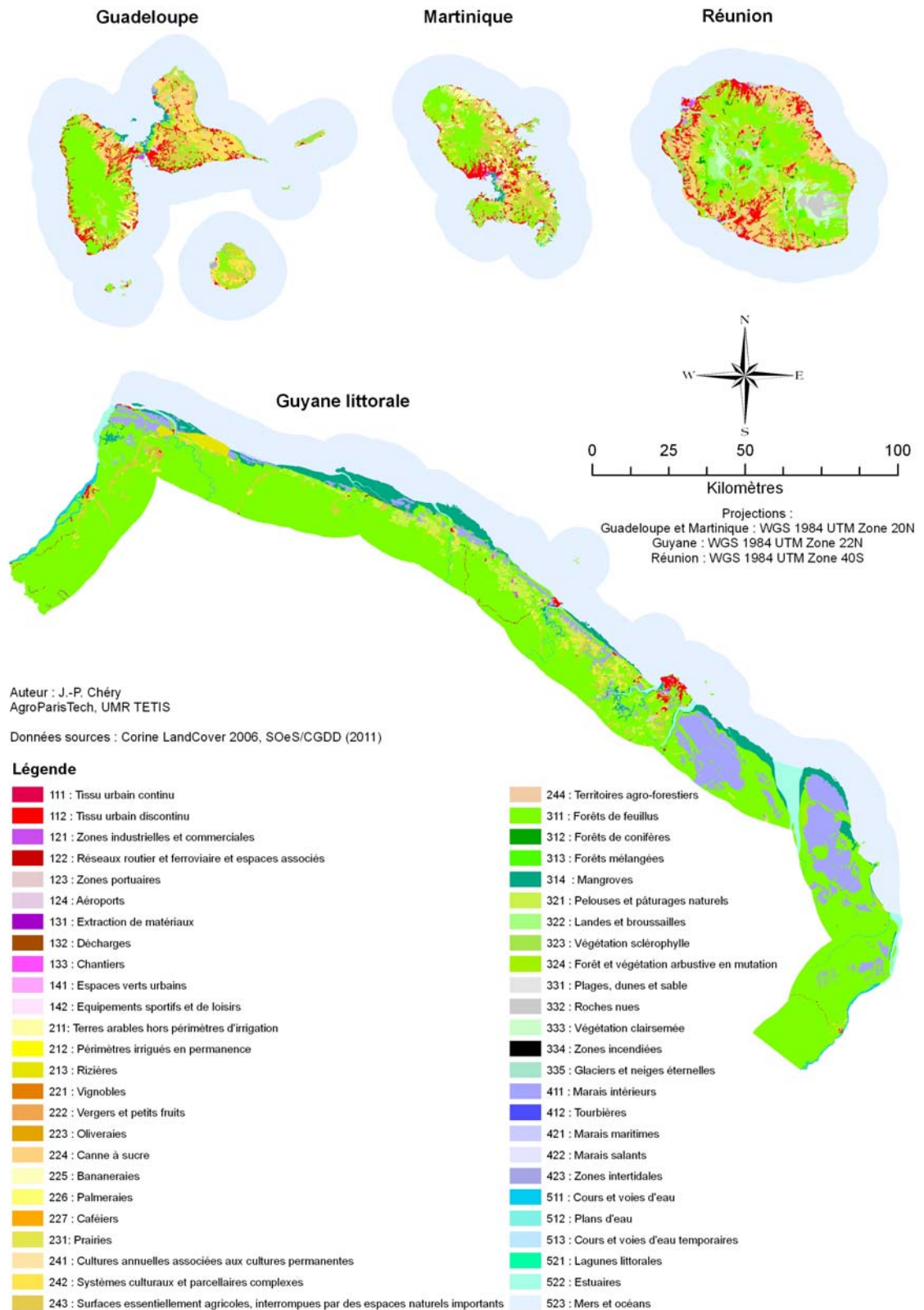


Figure 56 : L'occupation du sol en 2006, selon la base Corine Landcover disponible depuis début 2011, pour la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane et la Réunion

