

**Université des Antilles et de la Guyane**  
**Faculté des Sciences Exactes et Naturelles**  
**École doctorale pluridisciplinaire :**  
**Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques**

**Thèse de doctorat en Biologie, Spécialité : Sciences de la vie**

**GIRDARY Laurent**

Né le 2 Août 1984 à Pointe à Pitre, Guadeloupe

**Analyse géographique de la transmission de la  
dengue suivant les contextes d'habitations en  
Guadeloupe**

Thèse soutenue le 3 décembre 2012

**Direction de thèse : Dr Juliette SMITH-RAVIN**  
**Co- direction : Dr Laurence MARRAMA-RAKOTOARIVONY**

Jury

M. Raymond <b>CESAIRE</b> , Professeur , CHU Fort-de-France	Membre du jury
M. Enguerran <b>GRANDCHAMP</b> , MCF-HDR Informatique, UAG	Membre du jury
Mme Laurence <b>MARRAMA-RAKOTOARIVONY</b> , Dr HDR, ECDC	Co-directrice de thèse
M. Andrei <b>OLIFER</b> , Professeur, Georgia Gwinnett College, USA	Rapporteur
M. Ronald <b>PERRAUT</b> , directeur, Institut Pasteur de Dakar	Rapporteur
Mme Juliette <b>SMITH-RAVIN</b> , MCF-HDR Biologie, UAG	Directrice de thèse

Laboratoire de rattachement : EA-929-AIHP-GEODE (BIOSPHERES)  
Institution de rattachement : Université des Antilles et de la Guyane (UAG)

## Résumé

La dengue constitue actuellement l'arbovirose la plus répandue sur la planète avec 40% de la population mondiale exposée, soit environ 2,5 milliards de personnes. La maladie est endémique dans tous les continents excepté l'Europe même si les premiers cas de transmission autochtone ont été observés en France métropolitaine et en Croatie en 2010. L'augmentation régulière de son incidence fait actuellement de la dengue un problème de santé publique majeur dans les pays tropicaux et une menace pour d'autres pays du monde. En raison de son mode de transmission, la dengue constitue une maladie étroitement liée à l'environnement. L'urbanisation constitue un facteur important dans l'émergence ou la réémergence d'épidémies de dengue dans les pays tropicaux. Cette étude menée a pour objet d'analyser les liens existant entre le domaine de la santé (situation sanitaire et épidémiologique de la dengue) et de celui de l'environnement (évolution de l'urbanisation) en Guadeloupe continentale entre 2000 et 2008.

Pour ce faire, les cas suspects et confirmés de dengue ont été recueillis. L'incidence pour ces deux types de cas a été calculée puis représentée à deux échelles administratives différentes : communes et sections. Les facteurs environnementaux comprenant les variables physiques et socio-démographiques ont été pris en compte pour la définition, l'identification et l'analyse de l'évolution des contextes d'habitation durant la période étudiée. Deux méthodes ont été utilisées : la classification « Raster » consistant en une analyse régulière basée sur des mailles de taille identique et la classification « Vecteur » s'appuyant sur les limites administratives des sections. Ces classifications ont permis de décrire la répartition des différents contextes d'habitation sur le territoire de la Guadeloupe et d'obtenir des indicateurs qui ont été analysés en relation avec les données sanitaires.

Il a été mis en évidence que la situation épidémiologique de la dengue dans le département s'est significativement aggravée au cours de la période étudiée. Des épidémies majeures sont apparues en 2001, 2005/2006 et 2007. Le nord Basse-Terre, la région Pointoise ainsi que le sud-est de la Grande-Terre, de la ville du Gosier à Saint-François le long de la côte, sont les régions les plus concernées par l'augmentation d'incidence de la maladie. Concernant les contextes d'habitation, huit contextes distincts ont été identifiés : touristique, naturel, intermédiaire, agricole, résidentiel, rural, périurbain et urbain. Le contexte intermédiaire correspond à des régions de transition entre les autres contextes d'habitation. La différence entre les contextes agricoles et ruraux réside dans la prédominance de surface agricole pour le premier alors que le contexte rural est caractérisé par les espaces cultivés habités. L'évolution surfacique de ces contextes au cours du temps a été analysée en relation avec les incidences. Les résultats montrent que les contextes d'habitation sont statistiquement associés à l'incidence de la dengue en Guadeloupe. En particulier, les contextes touristiques, résidentiels et ruraux possèdent une association positive élevée avec l'incidence de la dengue.

En l'absence de vaccin, la lutte anti-vectorielle est la seule façon de contrôler la dengue. Néanmoins, cela ne suffira pas à réduire à long terme la transmission de la dengue en Guadeloupe. En conséquence, un contrôle stratégique durable du vecteur de la maladie devra nécessairement passer la conduite de travaux de recherche entre les différents services publics et organismes de recherche à l'échelle du département et de la Caraïbe.

Mots-clés : dengue, épidémiologie, contextes d'habitation, classification

## **Abstract**

At present, dengue fever has become the arbovirose the most wide-spread worldwide with 40 % of the exposed population, 2,5 billion people. The disease is endemic in all the continents excepted Europe even though the first cases of autochthonous transmission were observed in metropolitan France and Croatia in 2010. Because of the recent increase of its incidence, dengue fever is now a major public health problem in the tropical countries and a threat for the other countries in the worldwide. Due to its mode of transmission, the disease is closely linked to the environment. Urbanization is an important factor of the emergence or the re-emergence of dengue in the tropical countries. This study aims to analyze the links between health and environment domains, which correspond to the epidemiological situation of the dengue and the evolution of the urbanization in Guadeloupe.

Information about suspect and confirmed cases of dengue were collected. The incidence of suspect and confirmed cases has been estimated, then represented at two different administrative boundaries: communes and sections. Environmental factors including the physical and socio-demographic variables were taken into account to the definition, the identification and the analyze of evolution of the housing patterns during the studied period. Two methods were used: " Raster " consisting of a regular analysis based on squares units and "Vector" based on the administrative limits of sections. These classifications allowed to describe the distribution of the different housing patterns of Guadeloupe and to estimate indicators for the analyzing of sanitary data.

The results highlight a worsening of epidemiological situation of the dengue over the time in the department. Major outbreaks occurred in 2001, 2005/2006 and 2007. The north Basse-Terre, the Pointe-à-Pitre urban area as well as the whole coast (from the city of Gosier to Saint-François) of the southeast of Grande-Terre were the most affected regions by the increase of incidence of dengue. Concerning the housing classes, eight different patterns were identified: tourist, natural, intermediate, agricultural, residential, rural, suburban and urban. The intermediate class corresponds to buffer regions between the other patterns. The difference between the agricultural and rural contexts lies in the predominance of agricultural surface for the first one while the rural context is characterized by the inhabited farmland. The evolution over time of spatial extend of these patterns was described in relation with incidence. Results showed that the housing patterns are statically associated with the incidence of dengue in Guadeloupe. In particular, the touristic, residential and rural patterns have a high positive association with dengue incidence.

In the absence of vaccine, vector control is the only way to control dengue. However, it is not sufficient to reduce dengue fever transmission in Guadeloupe in the long term. A sustainable vector control strategy would have to be conducted by research institutes with various public services at the scale of the department and the Caribbean region.

Key-words: dengue, epidemiology, housing contexts, classification

## Remerciements

Les résultats des travaux de recherche présentés dans ce document sont le fruit d'une collaboration entre plusieurs personnes issues d'institutions diverses représentatives de la recherche et du monde socioprofessionnel en Guadeloupe. Je voudrais donc remercier tous ceux qui y ont apporté leur contribution.

Ces travaux se sont déroulés à l'Institut Pasteur de la Guadeloupe (IPG), au sein de l'Unité de recherche « Epidémiologie et transmission des maladies émergentes » en co-tutelle avec l'Equipe d'Accueil EA929 AIHP-GEODE (Archéologie Industrielle, Histoire, Patrimoine/Géographie-Développement Environnement de la Caraïbe)- (BIOSPHERES : Biologie et Sciences Physiques des Energies Renouvelables, de l'Environnement et de la Santé) de la Martinique.

Cette thèse a été financée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR) grâce à une allocation de recherche accordée à l'Université des Antilles et de Guyane (UAG). Plusieurs programmes de recherche initiés par l'Unité de recherche de l'IPG financés par le MESR ont permis d'obtenir des données de base nécessaires pour établir le cadre de la thèse et définir les contextes d'habitation et la répartition des cas de dengue en Guadeloupe.

Je voudrais remercier en tout premier lieu ma directrice de thèse Juliette SMITH-RAVIN, Maître de Conférences HDR en Biologie à l'UAG, de m'avoir soutenu et encouragé durant ces quatre années et d'avoir montré à mon égard une confiance sans faille afin que ce travail aboutisse.

Un remerciement particulier à Laurence MARRAMA RAKOTOARIVONY, Docteur HDR en biologie, ancienne responsable de l'Unité de recherche «Epidémiologie et transmission des maladies émergentes » à l'IPG, pour m'avoir accueilli dans son service et m'avoir proposé ce sujet de thèse innovant et couvrant plusieurs disciplines. Ses compétences en programmation et ses conseils avisés lors des recueils de données sur le terrain, le traitement et l'analyse de ceux-ci ainsi que leur validation auront été d'une aide très précieuse. Elle a continué de manifester, tout en étant éloignée, un fort intérêt dans ce projet.

J'adresse mes remerciements à M. Andrei OLIFER et M. Ronald PERRAUT qui me font l'honneur d'être les rapporteurs de ce travail. Je remercie également M. Enguerran GRANDCHAMP et M. Raymond CESAIRE qui ont accepté de faire partie du jury.

J'adresse mes remerciements à Jean VAILLANT, Professeur de mathématique à l'UAG, pour m'avoir apporté de précieuses connaissances sur les méthodes d'échantillonnage pour la classification des contextes d'habitation ainsi que les méthodes statistique pour le croisement de données.

Un grand merci à M. Jean Raphaël GROS-DESORMEAUX Docteur en géographie et chercheur CNRS, pour ses conseils et son apport dans la compréhension de l'urbanisation par l'approche géographique (SIG), que j'ai pu apprécier lors des réunions et des séances de travail très productives.

Je remercie aussi Mme Marie-Noëlle SYLVESTRE, Maître de conférences en Biochimie à l'UAG qui aura été ma tutrice pédagogique dans le cadre de la fonction de moniteur. Ses conseils et encouragements pour le bon déroulement de la thèse durant cette période auront été très utiles. J'en profite pour saluer M. Claude ANTONNIAZI animateur du stage « Voix et Gestes » au cours des trois années de monitorat et Mme Marylène TROUPE Maître de Conférences en Mathématiques et conseillère pédagogique à l'UAG dans le cadre du monitorat, pour leur soutien et leur disponibilité au cours des moments difficiles liés à la thèse.

Je voudrais chaleureusement remercier M. Ignace RAKOTOARIVONY et Mlle Christelle DOLLIN respectivement assistants chef et entomologistes dans l'Unité de recherche pour m'avoir appris différentes techniques aussi bien en biologie moléculaire qu'entomologique. Le travail sur le terrain avec les captures de moustique resteront également de très bons souvenirs d'un travail en groupe.

Plusieurs organismes de recherche et/ou établissements de santé publique contactés dans le cadre cette thèse ont permis l'obtention de données brutes ou pré-traitées aussi bien dans le domaine de l'épidémiologie que de l'urbanisme.

J'adresse à ce propos un remerciement à l'équipe de la cellule de lutte anti vectorielle de l'Agence Régionale de Santé (ARS), en particulier au responsable de la cellule M. Jöel GUSTAVE ingénieur, ainsi qu'au technicien entomologiste M. Cédric RAMDINI pour leur aide et leur collaboration dans les projets relatifs aux missions de terrain. Je remercie particulièrement M. Fabrice SONOR également technicien à l'ARS pour m'avoir initié et permis de faire mes premiers pas dans le monde du Système d'Information Géographique (SIG), logiciel essentiel dans la production des différentes cartes de résultats.

Je remercie également Mme Sylvie CASSADOU et M. Jean Loup CHAPPERT, médecins épidémiologistes ainsi que Mme Frédérique de SAINT-ALARY infirmière au sein de la Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie (CIRE) Antilles Guyane basée à Gourbeyre (Guadeloupe). Les précisions relatives aux recueils et traitements des données épidémiologiques des cas de dengue m'ont été d'une grande utilité dans la compréhension de la maladie et son contexte environnemental. Mme Frédérique de SAINT-ALARY m'a permis de récolter des données manquantes en contactant les laboratoires de biologie médicales et les médecins sentinelles.

Un remerciement spécial à tous les stagiaires qui ont effectué leur stage à l'Unité de Recherche à l'IPG, en particulier à Mlle Myriam GHARBI pour son travail sur les séries temporelles à partir des données épidémiologiques de la dengue ainsi que M. Christophe HUMEAU et Mlle Stéphanie MAURIZI pour leur travail de reconnaissance des bâtis et de

prétraitement des différents espaces en Guadeloupe. Les données socio-démographiques ont été apportées par l'INSEE que je remercie par la même occasion.

La Direction Départementale de l'Équipement (DDE) aura contribué à l'étude grâce à l'apport de données numériques, en particulier l'utilisation de photos aériennes, par l'intermédiaire de Messieurs Boris DOBRICHYNE et Alain GLASER.

Je remercie également M. Emmanuel LANCREROT, président de l'association des urbanistes pour son apport dans la connaissance de l'urbanisation en Guadeloupe et de son organisation sur le territoire. Le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement (CAUE) par l'intermédiaire de Mr Arsene FARAUX urbaniste Géographe m'a permis d'obtenir des informations s'agissant de l'historique et l'évolution de l'urbanisation en Guadeloupe.

Un remerciement particulier au Docteur André ATTALAH et M. Cédric CORNET Conseillers Régionaux de la Guadeloupe pour avoir soutenu et permis de présenter le travail préliminaires au sein de la Commission recherche de la Région Guadeloupe.

Un remerciement tout particulier à ma copine Maïté, mes parents et ma sœur pour leur soutien attentif dans les moments difficiles liés à ces années de thèse.

## **Avant propos**

La Guadeloupe, île française située dans la Caraïbe, a de nombreuses interactions avec différentes îles de la Caraïbe, en particulier dans le domaine culturel, politique et social. La santé est un domaine où la coopération régionale joue un rôle important, en particulier dans le cas de maladies endémiques telles la dengue qui touche les régions tropicales et subtropicales dont la Guadeloupe. Ainsi, le contexte caribéen est à prendre en compte dans les épidémies de dengue observées jusqu'ici dans ce département français. Plusieurs facteurs parmi lesquels le vecteur, le climat ou l'urbanisation, interagissent et influencent le développement et la transmission de la maladie dans la région.

Dans l'optique d'étudier la situation épidémiologique de la dengue, le laboratoire « Epidémiologie et transmission des maladies émergentes » a vu le jour en 2007 à l'IPG. L'objectif principal de cette étude est d'analyser sur plusieurs années, les différents facteurs potentiels et leurs interactions sur le territoire de la Guadeloupe et dans la Caraïbe.

Les collaborations avec l'EA 929, AIHP-GEODE (BIOSPHERES) dans le domaine de la géographie ainsi que l'EA 4540, Mathématique, Informatique et Applications (LAMIA) ont permis d'aborder, dans le cadre de la pluridisciplinarité, les représentations et les analyses cartographiques des données sanitaires liées à l'urbanisation et traitées par les chercheurs du laboratoire.

L'étude de l'évolution de l'urbanisation et son influence sur la dynamique de la dengue a été adressée dans un projet financé par la région Guadeloupe, portant sur l'analyse de l'évolution de l'habitat en Guadeloupe depuis 1996. Dans le cadre de cette étude, le rôle de la transition urbaine et les nouvelles pratiques de construction sur la transmission et la morbidité de la dengue en Guadeloupe, ont été abordés.

La collaboration avec les organismes de santé publique tels l'Agence Régionale de Santé (ARS), la Cellule Interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane (CIRE), la DDE, l'association des urbanistes de Guadeloupe, la DAAF et le CAUE a permis la mise à disposition de leurs données en vue d'analyser sous différents aspects les résultats d'épidémiologie, d'urbanisme et de géographie.

# Table des matières

1. Introduction .....	17
1.1 Généralités sur la dengue.....	17
1.1.1 Historique et définition .....	17
1.1.2 Epidémiologie de la dengue.....	18
1.1.3 Le virus de la dengue .....	20
1.1.4 Techniques de dépistage et de diagnostic .....	23
1.1.5 Les vecteurs de la dengue .....	27
1.1.6 Les moyens de lutte .....	30
1.2 La Guadeloupe.....	32
1.2.1 Situation géographique .....	32
1.2.2 Situation socio-économique.....	34
1.3 La situation sanitaire.....	36
1.3.1 Contexte Guadeloupéen.....	36
1.3.2 Modalités de la surveillance épidémiologique de la dengue .....	36
1.3.3 Coût socio-économique .....	38
1.4 Les facteurs environnementaux .....	39
1.4.1 Les différentes entités liées à l'habitat.....	41
1.4.2 Contexte Guadeloupéen.....	42
1.5 Problématique générale .....	43
1.6 Le Système d'Information Géographique (SIG) .....	44
1.6.1 Définition et intérêts .....	44
1.6.2 Fonctionnalités et capacités .....	45
1.6.3 Le SIG et la santé publique.....	46
2. Matériels et méthodes.....	48
2.1 Surveillance épidémiologique .....	48
2.1.1 Analyse rétrospective et prospective des cas de dengue.....	48
2.1.1.1 Protocole de collecte des cas suspects.....	48
2.1.1.2 Collecte des cas confirmés .....	49
2.2 Définition et traitement des indicateurs.....	50

2.2.1 Cas suspects .....	51
2.2.2 Cas confirmés.....	54
2.3 Analyses environnementales et analyse de l’habitat .....	54
2.3.1 Caractérisation des types d’habitats.....	55
2.3.2 Acquisition des données .....	55
2.3.3 Traitement préliminaire .....	56
2.3.3.1 Détermination des espaces agricoles, naturels et urbains .....	57
2.3.3.2 Détermination des variables physiques et socio- démographiques .....	60
2.3.3.2.1 Approche « raster » .....	60
2.3.3.2.2 Approche « vecteur » .....	62
2.4 Analyse exploratoire multidimensionnelle des données physiques et sociodémographiques .....	63
2.4.1 Classification non supervisée.....	63
2.4.1.1 Analyse en composantes principales (ACP). .....	64
2.4.1.2 Classification hiérarchique ascendante .....	64
2.4.1.3 Analyse Bayésienne discriminante quadratique.....	66
2.4.1.4 Identification des classes.....	66
2.4.2 Seconde étape : classification supervisée des contextes .....	67
d’habitation .....	67
2.4.2.1 Approche raster .....	67
2.4.2.2 Approche vecteur .....	69
2.5 Influence des contextes d’habitations sur les cas de dengue .....	70
3. Résultats .....	73
3.1 Détermination des contextes d’habitation .....	73
3.1.1 Découpage du territoire en espaces naturel, agricole et urbain .....	73
3.1.2 Approche « raster ».....	74
3.1.2.1 Identification des classes d’habitation.....	74
3.1.2.2 Répartition des contextes d’habitation selon la classification non supervisée. 81	
3.1.2.3 Répartition des contextes d’habitation selon la classification supervisée.....	85
3.1.3 Approche « vecteur ».....	91
3.2 Analyse épidémiologique des cas de dengue .....	99
3.2.1 Suivi des cas suspects .....	99
3.2.2 Incidence des cas suspects de dengue.....	101
3.2.2.1 Incidence des cas suspects par commune.....	101

3.2.2.2 Incidence des cas suspects par section .....	104
3.2.3 Incidence des cas confirmés de dengue en Guadeloupe continentale entre 2000 et 2008.....	109
3.2.3.1 Incidence des cas confirmés par commune .....	109
3.2.3.2 Incidence par section .....	113
3.3 Influence des contextes d’habitations sur les incidences de cas confirmés observées .	117
4. Discussion .....	125
4.1 Evolution des contextes d’habitation.....	125
4.2 Evolution de l’incidence des cas de dengue .....	127
4.3 Analyse du facteur d’urbanisation sur les incidences de dengue observées.....	131
4.4 Autres facteurs explicatifs potentiels de l’incidence des cas de dengue .....	134
5. Perspectives.....	137
6. Conclusion.....	138
<b>Bibliographie.....</b>	<b>140</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>155</b>

## Table des figures

Figure 1- Pays/régions à risque de transmission de la dengue en 2010.....	19
Figure 2- Représentation du virus de la dengue.....	20
Figure 3- Diagramme de la polyprotéine de dengue, avec représentations des protéines structurales (C, prM, E) et non-structurales (NS1, NS2, NS3, NS4, NS5) impliquées dans la réplication du virus.....	21
Figure 4- Schémas (a, b) de la vue d'ensemble du cycle de réplication du virus de la dengue ...	22
Figure 5- Résumé des méthodes directes et indirectes selon leur confiance et leur accessibilité .....	23
Figure 6- Schémas globaux de l'infection primaire (a) et secondaire (b) par le virus de la dengue et de l'isolation du virus avec la détection des IgM et IgG.....	24
Figure 7- Test ELISA.....	25
Figure 8- Ensemble des étapes de la RT-PCR.....	26
Figure 9 a et b)- <i>Aedes aegypti</i> .....	28
Figure 10- Cycle de transmission du virus de la dengue par le moustique <i>Aedes aegypti</i> .....	29
Figure 11- Campagne d'éradication du moustique vecteur.....	30
Figure 12- Carte de la région Amérique-Caraïbes .....	33
Figure 13- Zone d'étude en rouge en a) et la répartition des communes de la Guadeloupe continentale en b) .....	34
Figure 14- Evolution de la population de la Guadeloupe depuis 1965 .....	35
Figure 15- Répartition de la population en 1999/2008 .....	35
Figure 16 - Répartition des médecins sentinelles dans les différentes communes de Guadeloupe et îles proches en 2008 .....	38
Figure 17- Localisation des espaces naturels .....	40
Figure 18- Localisation des zones cultivées en Guadeloupe.....	41
Figure 19- Superposition de couches .....	45
Figure 20- Représentation des formats vecteur et raster .....	46
Figure 21- Répartition du nombre de médecins généralistes/1 000 Habitants par commune en 2003 .....	51
Figure 22- Exemple d'illustration de zones tampon calculés autour de chaque cabinet médical impliqué dans le réseau sentinelle.....	52
Figure 23- Illustration des zones de couverture (sections) des médecins sentinelles par commune .....	53

Figure 24 – Ensemble des IRIS de la Guadeloupe continentale .....	56
Figure 25 - Analyse et vérification du parcellaire agricole .....	57
Figure 26- Détermination de l'espace agricole (a et b) .....	57
Figure 27- Détermination de l'espace urbanisé net (a, b et c).....	58
Figure 28 - Détermination de l'espace naturel (a, b et c).....	59
Figure 29- Répartition des trois types d'espaces en 1996 en Guadeloupe.....	59
Figure 30 – Analyse cellule sur la couche bâti en Guadeloupe (a et b) .....	60
Figure 31 – Nombre moyen de pièces par maison dans l'IRIS et la cellule .....	61
Figure 32- Dendrogramme .....	65
Figure 33- Illustration d'une boîte à moustaches .....	67
Figure 34 a et b)- Evolution des espaces « agricole », « urbanisé net » et « naturel » en Guadeloupe de 1996 à 2004 .....	73
Figure 35– Dendrogramme .....	74
Figure 36- Boîte à moustache des valeurs du pourcentage de résidences secondaires et logements occasionnels selon les huit contextes d'habitations.....	76
Figure 37- Habitations dans une zone urbaine .....	78
Figure 38- Habitations dans une zone pavillonnaire .....	78
Figure 39- Habitations dans une zone agricole .....	79
Figure 40- Habitations dans une zone naturelle .....	79
Figure 41- Habitations dans une zone périphérique.....	80
Figure 42- Habitations dans une zone touristique .....	80
Figure 43- Habitations dans une zone rurale .....	81
Figure 44 – Répartition spatiale des contextes d'habitation selon la classification non supervisée .....	83
Figure 45 a)- Répartition spatiale des contextes d'habitations entre 1996 et 2004 selon l'algorithme C4.5 de la classification supervisée.....	88
Figure 46- Répartition spatiale des huit contextes d'habitation suivant la classification supervisée avec l'algorithme FT par l'approche vecteur (a, b et c).....	93
Figure 47- Etude de l'évolution des logements par commune en Guadeloupe entre 1999 et 2008 .....	97
Figure 48- Etude de l'évolution des nouvelles constructions par commune en Guadeloupe entre 1999 et 2008 .....	98
Figure 49- Suivi épidémiologique de la dengue par les médecins sentinelles dans les communes de la Guadeloupe continentale selon les périodes de transmission de 2000 à 2008 .....	100

Figure 50- Incidence pour 1000 habitants des Cas Suspects de 2000 à 2008 par commune selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE).....	103
Figure 51- Evolution spatiale du suivi des médecins sentinelles entre 2000 et 2008 (a, b et c).....	105
Figure 52- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Suspects de 2000 à 2008 par section selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE).....	108
Figure 53- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Confirmés de 2000 à 2008 par commune selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE).....	112
Figure 54- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Confirmés de 2000 à 2008 par section selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE).....	116
Figure 55 a, b et c- Boxplot suite à l'ANOVA entre les sections stables et les contextes d'habitation selon les différentes périodes étudiées.....	122
Figure 56 a, b et c- Boxplot suite à l'ANOVA entre les sections changeant de classe et les contextes d'habitation selon les trois périodes étudiées.....	123

## Liste des tableaux

Tableau 1 – Echantillon représentative des cellules.....	68
Tableau 2- Effectif des sections représentatives selon les contextes d’habitation.....	69
Tableau 3 – Répartition des mailles dans l’approche « raster ».....	75
Tableau 4 – Description des variables caractéristiques pour les classes 1, 2, 4, 5, 7 et 8.....	77
Tableau 5 – Evolution des contextes d’habitation entre 1996 et 2000 (pourcentage).....	84
Tableau 6- Evolution des contextes d’habitation entre 2000 et 2004 (pourcentage).....	85
Tableau 7 – Répartition des mailles après la classification supervisée.....	86
Tableau 8- Evolution des contextes d’habitation entre 1996 et 2000 avec l’algorithme FT....	90
Tableau 9- Evolution des contextes d’habitation entre 2000 et 2004 avec l’algorithme FT...87	
Tableau 10- Nombre de sections par classe en 1996, 2000 et 2004.....	91
Tableau 11- Evolution des contextes d’habitation entre 1996-2000 (a), 2000-2004 (b) et 1996-2004 (c) de la classification supervisée de l’approche vecteur.....	95
Tableau 12- Intervalles du temps de suivi d’après les périodes de transmission de la dengue.....	99
Tableau 13 - Moyenne des incidences des cas confirmés de 2000 à 2003 selon les huit contextes d’habitations*.....	118
Tableau 14- Moyenne des incidences des cas confirmés de 2004 à 2007 selon les huit contextes d’habitations*.....	118
Tableau 15- Valeur maximale des incidences des cas confirmés de 2000 à 2003 selon les huit contextes d’habitations*.....	119
Tableau 16- Valeur maximale des incidences des cas confirmés de 2004 à 2007 selon les huit contextes d’habitations*.....	119
Tableau 17- Détermination de la P-value selon les périodes de couverture des médecins et l’effectif des sections stables/avec changement de classe entre 1996 et 2004.....	120
Tableau 18- Médiane et valeur extrême supérieure des incidences selon les périodes de couverture des médecins et l’effectif des sections stables et avec changement de classe entre 1996 et 2004.....	124

## Liste des abréviations

Ac : Anticorps  
AIHP-GEODE (Archéologie Industrielle, Histoire, Patrimoine/Géographie-Développement Environnement de la Caraïbe) BIOSPHERES- EA929, Pôle Martinique.  
ARS: Agence Régionale de Santé  
Bti: *Bacillus thuringiensis israelensis*  
C4.5 : Extension de l'algorithme ID3  
CAUE : Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement  
CHU : Centre Hospitalier Universitaire  
CIRE : Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie  
CMU : Couverture Maladie Universelle  
CVS : Cellule de Veille Sanitaire  
DAAF : Direction de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt  
DALY's: Disability-Adjusted Life Years'  
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DDE: Direction Départementale de l'Equipelement  
DF : Dengue Fever  
DFA : Départements Français d'Amérique  
DHF : Dengue Hemorragic Fever  
DOM : Département d'Outre-Mer  
DSDS : Direction de la Santé et du Développement Social  
DSS : Dengue Shock Syndrom  
FT : Function Tree  
GPS : Global Positioning System  
Ha: Hectares  
HDR : Habilitation à Diriger des Recherches  
IGR: Insect Growth Regulators  
INSEE : Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques  
IPG : Institut Pasteur de Guadeloupe  
IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique  
LAMIA : Mathématique, Informatique et Applications  
MESR : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
ODEADOM : Office de Développement de l'Economie Agricole des Départements d'Outre-Mer  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
PCR : Polymerase Chain Reaction  
PIB : Produit Intérieur Brut  
PSAGE : Programme de Surveillance, d'Alerte et de Gestion des Epidémies de dengue  
RPG : Registre Parcellaire Graphique  
SIG : Système d'Information Géographique  
UAG: Université des Antilles et de la Guyane

## Glossaire

**Algorithme** : Ensemble des règles et des techniques impliquées dans la définition et la conception d'algorithmes, c'est-à-dire de processus systématiques de résolution d'un problème permettant de décrire les étapes vers le résultat.

**Appareil de Golgi** : Organite des cellules biologiques, jouant un rôle majeur dans le processus d'exocytose ; il fait l'intermédiaire entre le réticulum endoplasmique et la membrane plasmique

**Boîte à moustaches** : Appelée diagramme en boîte, boîte de Tukey ou box plot, la boîte à moustache est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative. Elle résume seulement quelques caractéristiques de position du caractère étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum ou déciles).

**Dendrogramme** : Diagramme utilisé pour illustrer l'arrangement de groupes générés par un regroupement hiérarchique.

**Humidité relative** : Rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donnée à une température donnée, et la quantité de vapeur d'eau contenue par ce même volume d'air à saturation.

**Icosaédrique** : Qui a la forme d'un icosaèdre, polyèdre à vingt faces.

**Lumière** : Intérieur d'un organite ou d'un organe. Dans le cas des organites, le côté luminal s'oppose au côté cytosolique.

**Migration nette** : Différence entre le flux d'immigration et le flux d'émigration ou différence entre le flux des entrants et le flux des sortants, pour une région et une période données.

**Composé organo-phosphoré** : Type de composé organique comportant au moins un atome de phosphore lié directement à un carbone.

**Primo-infection** : Première période d'une infection quand le nombre des agents pathogènes est le plus élevé et que le corps n'a pas encore produit d'anticorps pour lutter contre l'infection.

**Réticulum endoplasmique (RE)** : Organite présent dans les cellules eucaryotes. Le RE modifie les protéines et transfère des substances vers l'appareil de Golgi

**Syndrome Dengue-like** : Fièvre d'apparition brutale avec un ou plusieurs symptômes non spécifiques (douleurs musculo-articulaires, manifestations hémorragiques, céphalées frontales, douleur rétro-orbitaire, éruption maculo-papuleuse...), en l'absence de tout autre point d'appel infectieux.

# 1. Introduction

## 1.1 Généralités sur la dengue

### 1.1.1 Historique et définition

Les premières références faisant état de la maladie remontent à la fin du premier millénaire en Chine. Dans la région des Antilles, ce n'est que vers les années 1600 que les premiers cas évocateurs de dengue ont été rapportés, notamment par le Révérend Père DUTERTRE. Cependant, les symptômes étant communs à d'autres maladies telles la fièvre jaune ou le paludisme, les épidémies ayant lieu à cette époque ne pouvaient pas être attribuées à la dengue avec une certitude absolue. Suite à l'épidémie qui a touché la ville de Philadelphie aux Etats-Unis en 1780, le Docteur Benjamin RUSH a été le premier à caractériser un réel syndrome clinique spécifique de la dengue (Siler, 1926). L'identification précise de la maladie a conduit à lui donner un nom : elle fut appelée successivement *Break-heartfever* puis '*kidingapepo*', mot d'origine Swahili traduisant les crampes douloureuses caractéristique du tableau clinique (Christie, 1872). Le Royal College des médecins de Londres inscrivit en 1869, la maladie à leur nomenclature sous le nom définitif de « dengue » (Kofoid, 1918).

La dengue est une maladie due à un virus transmis par la piqûre d'un arthropode, un moustique du genre *Aedes* (Cleland, 1916 ; Siler, 1926 ; Simmons, 1931). La principale espèce vectorielle responsable de la transmission de la maladie est *Aedes aegypti* mais il existe également *Aedes albopictus* et d'autres *Aedes*, dans d'autres régions du monde, qui peuvent aussi transmettre le virus de la dengue. Après une incubation de 4 à 10 jours, la maladie débute brutalement et évolue en 3 phases : fébrile, critique et de guérison (Haut conseil de la santé publique, 2011). Plusieurs symptômes caractérisent la maladie : forte fièvre à début brutal, céphalées, douleurs musculaires (myalgies) et douleurs articulaires (arthralgies). Deux formes cliniques sont décrites: la dengue « classique » ou « Dengue Fever (DF) » et la forme sévère qui comprend la dengue hémorragique (ou Dengue Haemorrhagic Fever (DHF)) et la dengue avec syndrome de choc (ou Dengue Shock Syndrom (DSS)). Toutefois, en 2005, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose une nouvelle classification avec la dengue classique et la dengue sévère composant les formes symptomatiques de la maladie. En effet, il n'y a aucune preuve que les formes DF et DH/DSS soient des entités cliniques réellement distinctes (WHO, 2005). Il existe quatre sérotypes distincts du virus de la dengue. Un individu infecté par l'un d'entre eux est immunisé pendant toute la vie contre ce sérotype mais n'acquiert qu'une immunité passagère et partielle contre les trois autres. Par conséquent, il n'existe pas d'immunité protectrice croisée dans cette maladie (Sabin, 1952), une même personne peut donc faire jusqu'à quatre épisodes de dengue au cours de sa vie.

Deux hypothèses principales sont avancées afin d'expliquer l'apparition des formes sévères :

- a) Un phénomène de facilitation suite à une infection séquentielle. C'est l'hypothèse la plus souvent citée, signifiant que la succession d'infections par des sérotypes différents chez un même individu favoriserait secondairement l'apparition des manifestations hémorragiques (Halstead, 1970). Par conséquent, les chances pour un individu de faire les quatre épisodes de dengue sans avoir de complications ou de séquelles sont minimes.

- b) Une différence dans le pouvoir pathogène entre des souches de sérotypes différents et/ou entre les différents génotypes au sein d'un même sérotype. Cela signifie que certaines souches possèdent une capacité plus puissante que d'autres, à infecter et engendrer la maladie que d'autres selon leur répartition à travers les régions du monde.

La dengue est une maladie contre laquelle il n'existe actuellement ni traitement spécifique, ni vaccin ; le traitement est donc symptomatique. Il est préconisé d'utiliser le paracétamol et une réhydratation orale adaptée. L'aspirine est contre indiquée en raison du risque hémorragique<sup>1</sup>. Les formes DHF et DSS relèvent d'une prise en charge dans des services d'urgence spécialisés.

### 1.1.2 Epidémiologie de la dengue

Il existe plusieurs définitions de l'épidémiologie. Nous avons choisi de retenir celle de J.H. Abramson: *L'épidémiologie est une science qui a pour objet d'étudier l'occurrence, la répartition et les déterminants des états de santé et des maladies dans la population et les groupes humain*<sup>2</sup>. Dans le cadre de la partie liée à l'étude épidémiologique des cas de dengue, nous étudierons la fréquence et la distribution de la maladie dans l'espace et dans le temps ainsi que les facteurs associés à la présence de cas avec la définition des contextes d'habitations. Cette démarche vise à fournir les informations qui permettront aux autorités de santé publique de choisir la stratégie la plus adaptée de prévention et/ou de contrôle. La dengue étant une maladie à transmission vectorielle, différents acteurs interviennent dans la chaîne de transmission de l'infection et d'expression de la maladie: le moustique vecteur, l'hôte, le virus et l'environnement. Chacun a une écologie et une variabilité propre, ce qui rend l'épidémiologie de la dengue complexe (De La Rocque, 2001).

La dengue constitue actuellement l'arbovirose la plus répandue sur la planète (Gubler, 1997) avec 40% de la population exposée, soit environ 2,5 milliards de personnes. L'OMS estime qu'il y a 50 à 100 millions d'infections/an, dont 500 000 cas de dengue hémorragique et 22 000 décès, surtout chez des enfants. La maladie est présente dans tous les continents excepté l'Europe (Pinheiro, 1997) même si les premiers cas de transmission autochtone ont été observés en France métropolitaine en 2010 à Nice, dans le sud-est de la France où *Aedes albopictus* est établi avec une circulation du virus de la dengue dans la région (La Ruche, 2010). De plus, *Aedes albopictus* continue sa progression en France métropolitaine pour atteindre en 2012 le département du Lot-Et-Garonne dans la région Aquitaine<sup>3</sup>. L'augmentation régulière de son incidence fait actuellement de la dengue (DF et DHF) un problème de santé publique majeur dans les pays tropicaux et une menace pour d'autres pays du monde (Gubler, 1998). Dans les Amériques, les premières épidémies de DHF sont apparues en 1981 à Cuba, presque 30 ans après l'émergence de la forme sévère, le premier cas mortel de DHF ayant été reporté pour la première fois en 1953 à Manille aux Philippines (Who, 1997). L'épidémiologie de la maladie dans la région d'Amérique a connu au cours des années 70 une importante évolution ; entre 1968 et 1980, 60 cas de DHF ont été notifiés à l'OMS et entre 1981 et 2001, 93000 cas<sup>4</sup> dont la majorité a été observés dans la dernière décennie.

<sup>1</sup> <http://www.denguefeversymptoms.org/>

<sup>2</sup> <http://www.humans.be/pages/epidemiodef.htm>

<sup>3</sup> <http://sante.lefigaro.fr/actualite/2012/08/24/18892-moustique-tigre-poursuit-sa-progression-france>

<sup>4</sup> World Health Organization. Dengue and dengue haemorrhagic fever  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>

Le virus de la dengue (sérotypage 2) fut isolé pour la première fois en 1952, dans un pays de la Caraïbe Trinidad. En 1981, la dengue hémorragique fit son apparition dans la région avec l'épidémie de Cuba : 344 203 cas de dengue classique, 116 151 personnes hospitalisées en moins de six mois, 24 000 cas de dengue hémorragique, 158 décès dont 101 d'enfants de moins de 15 ans. L'année 1995 a marqué le début d'une véritable explosion d'épidémies de dengue hémorragique dans de nombreux pays d'Amérique centrale, de la Caraïbe et d'Amérique du Nord (Corriveau, 2003). Depuis plusieurs années on assiste donc dans cette région à une extension géographique de la dengue et à l'évolution progressive du continent Sud-Américain et la zone Caraïbienne vers une situation hyper endémique (Wilson, 2002 ; Guzman, 2003). Dans les années futures, on peut s'attendre à une situation comparable à celle observée aujourd'hui en Asie du sud-est<sup>5</sup> où l'incidence de la dengue hémorragique est plus élevée que dans les autres régions du monde.

Actuellement, la répartition géographique de la maladie concerne principalement les régions intertropicales, entre le 30° degré de latitude nord et le 30° degré de latitude sud. La Figure 1 présente le risque de transmission de la dengue en 2010 et les points jaunes correspondant aux extensions géographiques de la dengue. Plusieurs facteurs constituent des éléments favorables à l'expansion actuelle des formes sévères de la dengue dans les parties de la zone intertropicale jusque là encore peu touchées, parmi lesquels la circulation des quatre sérotypes dans l'ensemble des pays tropicaux, la diffusion progressive des virus asiatiques, la sensibilisation des enfants par des infections dès le premier âge. La démographie, en particulier l'expansion des vols commerciaux avec les mouvements de population rapides, la migration ont modifié la distribution spatiale des zones à risques de la dengue (Wilder-Smith, 2008). Les déplacements des populations peuvent agir sur la dynamique et la transmission des pathogènes par les vecteurs de maladies émergentes (Stoddard, 2009). Les facteurs entomologiques avec la dispersion progressive des populations de moustiques vecteurs de la maladie, les facteurs anthropiques avec le comportement humain dans son environnement sont également à prendre en compte (Kuno, 1995).



Figure 1- Pays/régions à risque de transmission de la dengue en 2010<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Les dossiers thématiques de l'IRD <http://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne.fr/virales/expansio/dengu01.htm#suds>

<sup>6</sup> <http://www.cfe.fr/pages/votre-sante/guidespatho.php?id=360>

### 1.1.3 Le virus de la dengue

L'agent infectieux de la dengue est un virus appartenant à la famille des *Flaviviridae* et au genre *flavivirus* comme d'autres virus pathologiques incluant le virus West Nile, le virus encéphalitique Japonaise et le virus de la fièvre jaune<sup>7</sup>. Le virus de la dengue est un virus enveloppé (Figure 2), de structure icosaédrique et d'un diamètre d'environ 50 nanomètres (Gubler, 1998). Son enveloppe est une bicouche lipidique dérivée de la cellule-hôte qu'il a infectée et dans laquelle il s'est multiplié. Dans l'enveloppe sont ancrées deux glycoprotéines structurales : la protéine d'enveloppe (E) et la protéine de membrane (prM) (Rey, 2003). Le génome du virus, porteur de la variation génotypique est contenu dans une nucléocapside de structure icosaédrique, composée d'une troisième protéine structurale, la protéine de capsid (C).

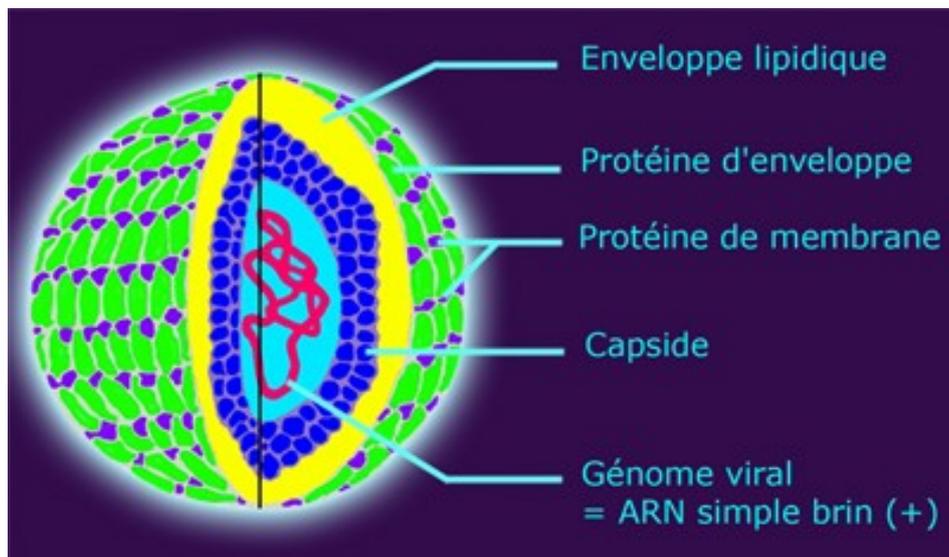


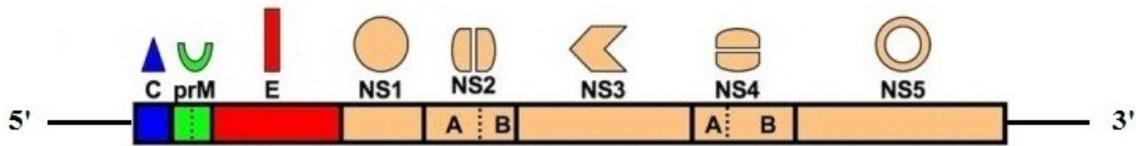
Figure 2- Représentation du virus de la dengue <sup>8</sup>

La compréhension de la pathogénie de la dengue est difficile. Il a été démontré que les cellules dendritiques (CDs), les monocytes et les macrophages étaient les principales cibles du virus, les CDs étant les premières cibles lors de l'entrée du virus après la piqûre par le moustique (Bente, 2006). Il existe quatre sérotypes nommés DEN-1, DEN-2, DEN-3 et DEN-4. On retrouve des différences génotypiques (génotypes américain, asiatiques, etc.) à l'intérieur de ces sérotypes du virus de la dengue. Ainsi, une étude de 2010 a montré que les différents génotypes de DEN-2 Américains et Asiatiques provoquaient une différence dans le développement du virus chez le moustique vecteur (compétence vectorielle). Les changements d'acides aminés au niveau de la protéine E et des nucléotides dans la zone 3'UTR (UTR : Untranslated Region) pourraient à l'origine de cette variabilité génotypique (Salazar, 2010). Le génome viral est composé d'un ARN simple brin sens positif d'environ 11 kilobases. Le génome contient deux régions non-traduites UTR en 3' et 5' ayant un rôle clé dans la régulation de la traduction et la réplication et dans l'interaction avec des protéines virales et/ou cellulaires (Wei, 2009).

<sup>7</sup> [http://viralzone.expasy.org/all\\_by\\_species/43.html](http://viralzone.expasy.org/all_by_species/43.html)

<sup>8</sup> [http://www.ilm.pf/Dengue et vecteurs-virus](http://www.ilm.pf/Dengue%20et%20vecteurs-virus)

Cette ARN code pour trois protéines structurales (C, prM et E) et sept protéines non-structurales (NS) (NS1, NS2A/B, NS3, NS4A/B, NS5) impliquées dans la réplication de l'ARN viral (Perera, 2008) (Figure 3).

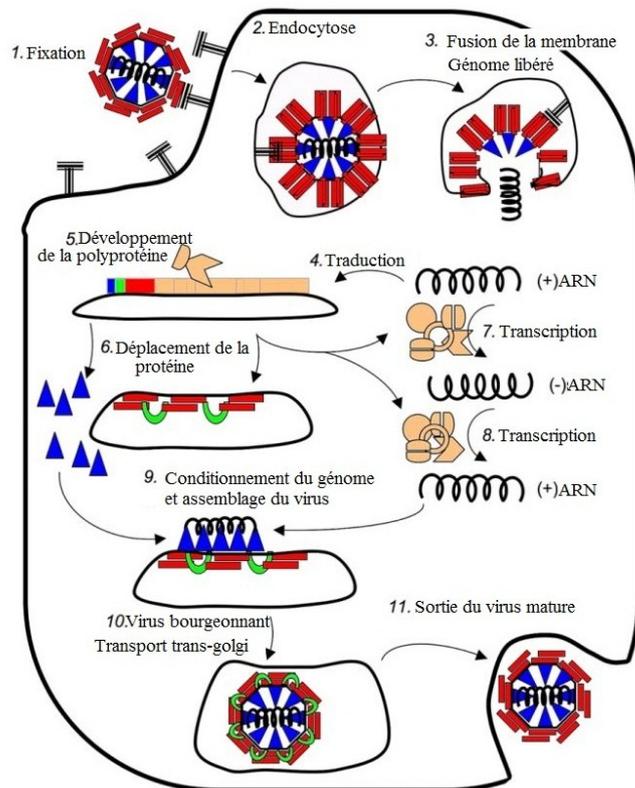


**Figure 3- Diagramme de la polyprotéine de dengue, avec représentations des protéines structurales (C, prM, E) et non-structurales (NS1, NS2, NS3, NS4, NS5) impliquées dans la réplication du virus <sup>9</sup>**

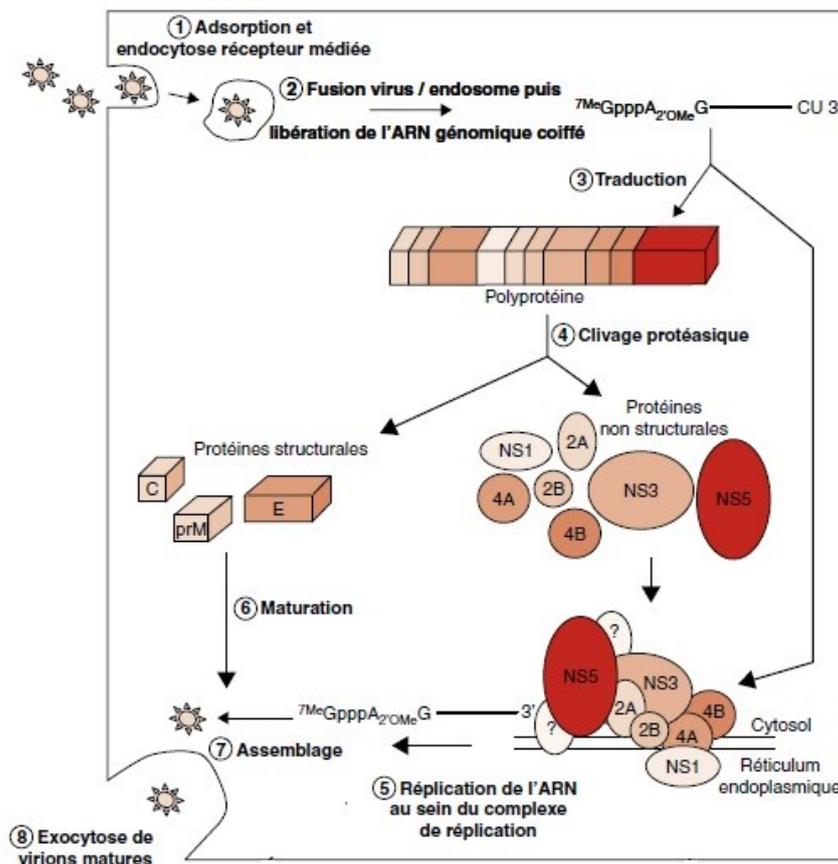
Le virus réplique son génome dans une membrane associée à un complexe de réplication, composé d'interactions entre protéines (Figure 4) (Perera, 2008). Comme pour les autres virus enveloppés, le virus pénètre les cellules par endocytose (Kielian, 2006) et réorganise les membranes de la cellule interne afin d'établir des sites spécifiques de réplication (Welsch, 2009). La pénétration du virus dans la cellule se fait par l'intermédiaire de récepteurs à endocytose, puis est suivie par la fusion des membranes virales et cellulaires par la protéine E pH-dépendant (Whitehead, 2007). La glycoprotéine E est donc impliquée dans la fixation et la fusion du virion aux cellules hôtes. Après la fusion, le génome ARN se dissocie de la nucléocapside virale et pénètre dans le cytoplasme où il fonctionne comme ARN messager et est traduit sous la forme d'une polyprotéine. La coupure de cette polyprotéine est un processus fondamental qui doit apparaître avant que la réplication de l'ARN viral ne s'effectue. Ainsi, cette polyprotéine est clivée en protéine structurale ou NS par des protéases d'origine cellulaire ou virale (NS3 et son co-facteur NS2B) résidant dans le cytoplasme (Falgout, 1991).

La majorité des protéines NS est connue pour être responsable de la réplication de l'ARN viral, se déroulant dans la membrane associée à des complexes de réplication du virus (Mackenzie, 1996). La NS1 associée avec la NS4A pourrait être déterminant dans les premières étapes de la réplication de l'ARN viral (Lindenbach, 1999). La protéine NS1 est un hexamère lié à la surface de la cellule infectée (Flamand, 1999) via la glycosylphosphatidyl inositol (GPI) (Jacobs, 2000). Il y a une accumulation significative (jusqu'à 50 µg/ml) dans le sérum des patients infectés (Alcon et al., 2002). A l'intérieur du réticulum endoplasmique (RE), la protéine NS1 est modifiée avec l'ajout de sucres (glycanes N-lié) aux positions N130 et N207 (Falgout et Markoff, 1995). La fixation des glycanes à la NS1 permet une stabilisation de l'hexamère, facilite la sécrétion et l'expression à la surface de la cellule (Somnuk, 2011). De plus, les NS4A et NS4B sont des protéines transmembranaires hautement hydrophobes qui sont responsables des arrangements membranaires amenant à la formation du complexe de réplication viral (Némesio, 2012). L'assemblage du virion se produit ainsi dans le RE et les virus peuvent sortir de la cellule par l'intermédiaire du réseau de Golgi. (Whitehead et Massé, 2007).

<sup>9</sup> [http://www.dsimb.inserm.fr/~debvern/IDDT-2009\\_in\\_silico\\_issue/iddt\\_2009\\_in\\_silico\\_issue.php](http://www.dsimb.inserm.fr/~debvern/IDDT-2009_in_silico_issue/iddt_2009_in_silico_issue.php)



(a)



(b) Massé, 2007

Figure 4- Schémas (a, b) de la vue d'ensemble du cycle de réplication du virus de la dengue <sup>10</sup>

<sup>10</sup> [http://www.dsimb.inserm.fr/~debvern/IDDT-2009\\_in\\_silico\\_issue/iddt\\_2009\\_in\\_silico\\_issue.php](http://www.dsimb.inserm.fr/~debvern/IDDT-2009_in_silico_issue/iddt_2009_in_silico_issue.php)

## 1.1.4 Techniques de dépistage et de diagnostic

Plusieurs examens de laboratoire existent afin de diagnostiquer la dengue :

- l'isolement du virus par la culture de cellules et sa caractérisation,
- la détection de l'antigène non structural NS1 par le test immunoenzymatique Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay (ELISA) (Dosage d'immunoabsorption par enzyme liée),
- la Reverse Transcriptase – Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) (Réaction en chaîne par polymérase – Transcriptase inverse) utilisée pour amplifier l'ARN viral du virus de la dengue,
- la détection des Immunoglobulines (Ig) IgM ou des IgG spécifiques du virus de la dengue.

Après le début de la maladie, le virus peut être détecté dans le sérum, plasma, cellules sanguines et autres cellules de tissus entre quatre et cinq jours. Durant les premières phases de la maladie, la détection du virus, de son génome ou de la protéine NS1 peut être effectuée, représentant un diagnostic précoce ou diagnostic direct. A contrario, la détection d'anticorps (Ac) IgM et IgG représente un diagnostic tardif ou indirect (Haut Conseil de la Santé Publique, 2011) (Figures 5 et 6).

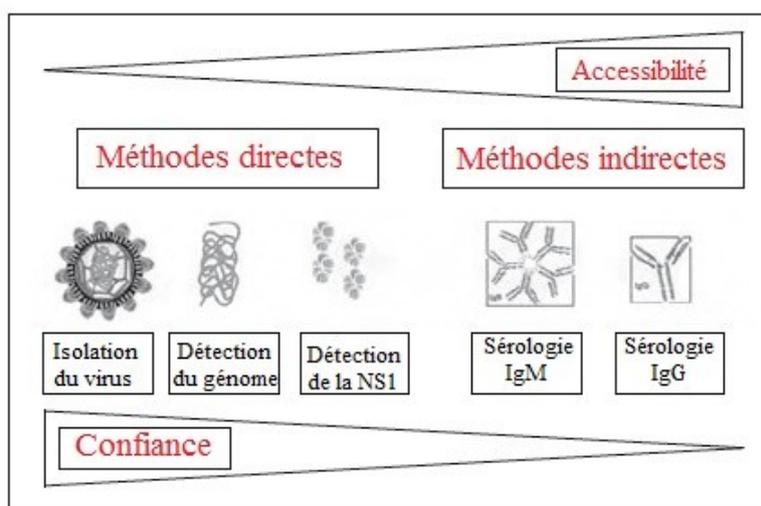
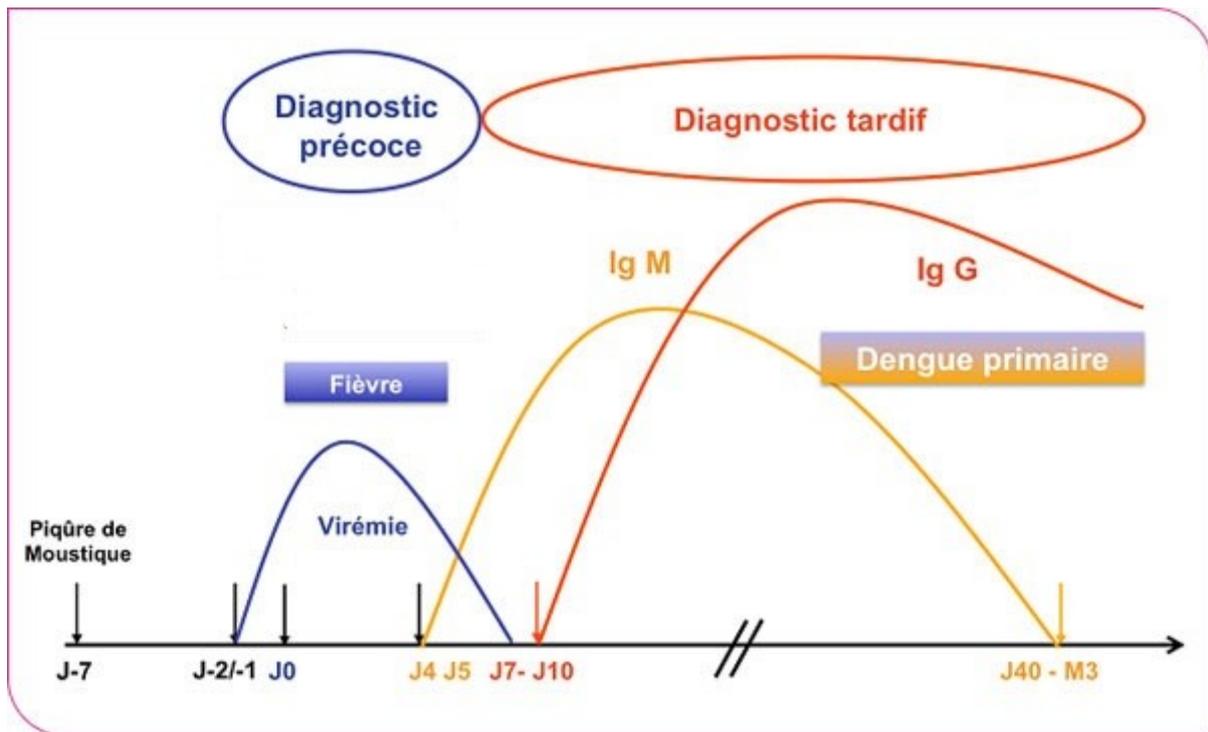
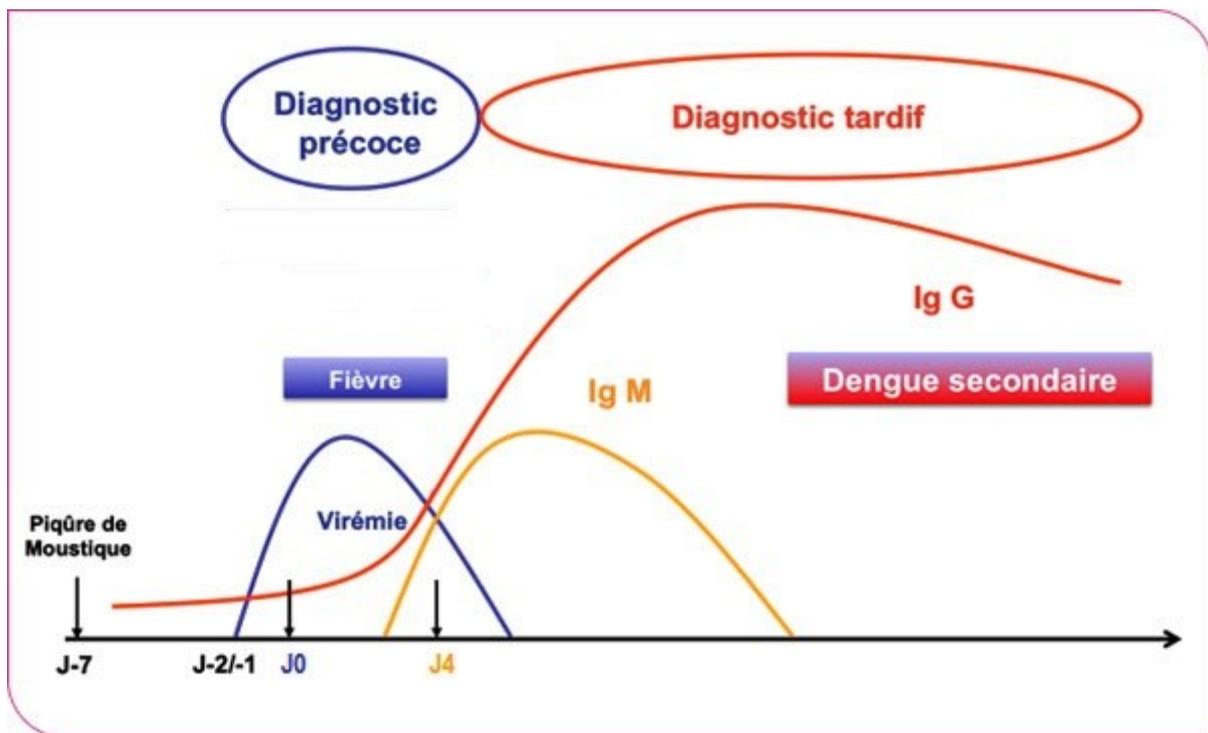


Figure 5- Résumé des méthodes directes et indirectes selon leur confiance et leur accessibilité



(a) Dengue primaire



(b) Dengue secondaire

Figure 6- Schémas globaux de l'infection primaire (a) et secondaire (b) par le virus de la dengue et de l'isolation du virus avec la détection des IgM et IgG <sup>11</sup>

<sup>11</sup> <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-declaration-obligatoire/Dengue/Points-sur-les-connaissances>

### a) Isolement du virus

Les échantillons de sérum, plasma ou cellules sanguines avec la présence du virus de la dengue doivent être collectés tôt au cours de l'infection, durant la période de virémie correspondant à la présence du virus dans le sang. La culture de cellule est le plus souvent employé afin d'isoler le virus de la dengue. Les lignées de cellules de moustiques sont les cellules hôtes choisies pour l'isolation de routine. Les cultures de cellules peuvent être visualisées par la détection d'antigène par immunofluorescence avec l'utilisation d'anticorps monoclonal sérotype spécifique.

### b) Détection de l'antigène NS1

L'antigène NS1 est une protéine du virus de la dengue, détectée dans le sérum des patients atteints de dengue en phase précoce en général du premier au cinquième jour après l'apparition de la fièvre. Cette protéine peut être mise en évidence par la technique immunoenzymatique sur support solide ELISA. Ce test sérologique permet de détecter la présence d'un anticorps (Ac) ou d'un antigène (Ag) dans des échantillons de sérums de nombreuses maladies. Cette réaction a été utilisée pour la détection d'agents pathogènes dans le cas du SIDA, la rougeole, les hépatites et aussi de la dengue. Le sérum est mis en contact avec un support sur lequel sont présents des antigènes spécifiques de l'Ac recherché. Il se forme alors des complexes Ag-Ac, qu'il est possible de mettre en évidence par une immunoglobuline associée à une enzyme. Deux méthodes principales existent : le test sandwich, le plus couramment utilisé en recherche et le test compétition (Figure 7).

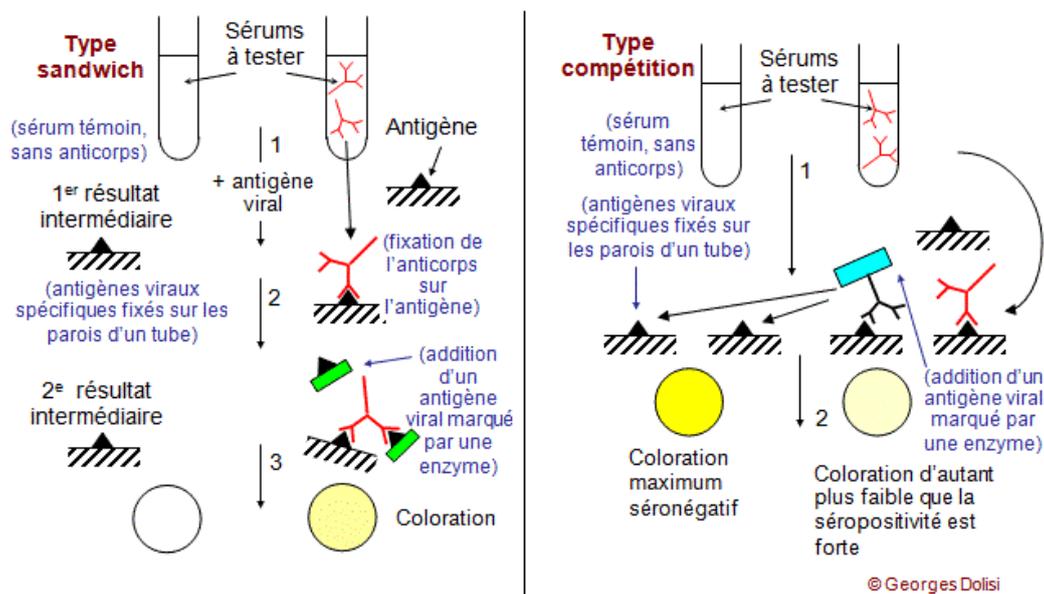


Figure 7- Test ELISA<sup>12</sup>

### c) RT-PCR

Toutes les méthodes de détection d'acides nucléiques impliquent trois étapes: l'extraction et la purification d'acides nucléiques, l'amplification et la caractérisation du produit amplifié. La RT-PCR est une technique d'amplification génique, qui permet d'isoler un fragment d'ADN ou de gène précis, présent en quantité infime dans un mélange, en multipliant le nombre de

<sup>12</sup> [http://georges.dolisi.free.fr/Physiopathologie/sida\\_prevention.htm](http://georges.dolisi.free.fr/Physiopathologie/sida_prevention.htm)

copies. Cette réaction correspond à la succession d'une trentaine de cycles comportant chacun trois étapes : la dénaturation, l'hybridation et l'élongation. Tous les éléments nécessaires à la réaction (ADN, amorce, enzyme, nucléotides) sont regroupés dans un tube qui sera soumis aux différentes températures correspondant à chaque étape. Ces cycles de température sont réalisés automatiquement dans un appareil nommé thermocycleur. La PCR est une technique de biologie moléculaire mise au point en 1985. La RT-PCR est utilisée afin de détecter les gènes viraux de la dengue dans la phase aiguë de la maladie. La RT-PCR correspond à une PCR après transcription inverse de molécules d'ARN en ADN complémentaire (ADNc). En réalité, il s'agit d'une PCR "classique" réalisée sur des molécules d'ADNc. Les ARN servent indirectement de matrices d'amplification pour la RT-PCR<sup>13</sup>. Elle permet de confirmer précocement l'infection et de déterminer le sérotype viral mis en cause. Cette détection coïncide avec la virémie et le début de la phase fébrile de la maladie. Le virus peut être ainsi détecté dans le sang (sérum) des patients dans environ les cinq premiers jours de symptômes. Une RT-PCR permet une confirmation de l'infection virale et de sérotyper le virus de la dengue. Néanmoins, si le résultat est négatif, une confirmation sérologique sera demandée après le cinquième jour de la maladie. La sensibilité de la RT-PCR varie de 80% à 100%, meilleure que la méthode de l'isolation du virus. Les résultats de l'amplification génique sont visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose<sup>14</sup> (Figure 8).

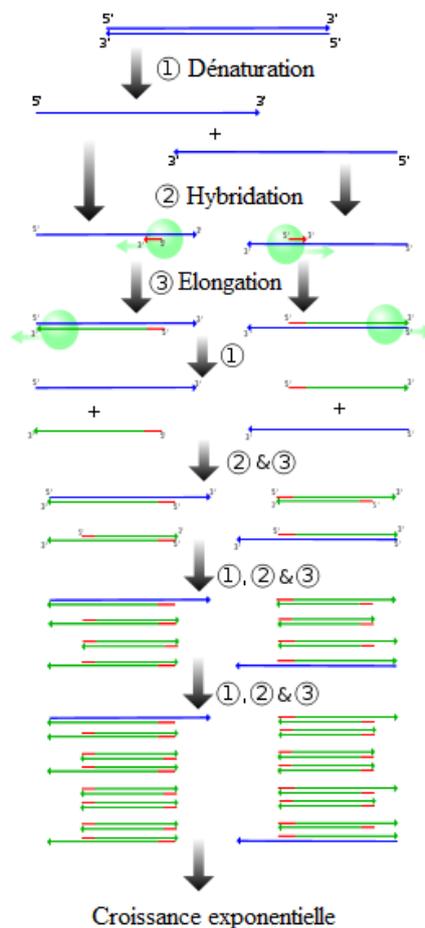


Figure 8- Ensemble des étapes de la RT-PCR<sup>15</sup>

<sup>13</sup> [http://www.ens-lyon.fr/RELIE/PCR/ressources/apects\\_techniques/rtpcr/rtpcr01.htm](http://www.ens-lyon.fr/RELIE/PCR/ressources/apects_techniques/rtpcr/rtpcr01.htm)

<sup>14</sup> <http://www.ilm.pf/PCR>

<sup>15</sup> <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PCR.svg?uselang=fr>

#### d) MAC-ELISA

La réponse immune acquise suivant une infection par la dengue se traduit par la production d'une réponse en Ac IgM et IgG contre les protéines d'enveloppe du virus. La plupart des tests commerciaux actuellement disponibles et effectués en laboratoire est basé sur cette détection d'IgM et d'IgG. La technique MAC-ELISA (capture d'anticorps IgM), technique la plus employée, est basée sur la capture d'anticorps humain IgM sur une plaque utilisant des anticorps anti-IgM humain suivi par l'addition de l'antigène spécifique du virus de la dengue dérivé de protéine d'enveloppe (DENV1-4). La technique MAC-ELISA a une sensibilité et spécificité respectivement de 90% and 98% uniquement à partir du cinquième jour après le début des symptômes de la maladie (Who, 2009).

La réponse immune varie en cas d'infection primaire (première infection) ou secondaire (plus d'une infection depuis la première). Une infection primaire est caractérisée par une lente et faible réponse en taux d'anticorps. L'anticorps IgM apparait en premier (Figure 6) tandis que l'immunoglobuline IgG est détectée à la fin de la première de la semaine de la maladie et son taux augmente lentement. Les IgM peuvent rester élevées dans le sérum pendant deux à trois mois après la maladie. Au cours d'une infection secondaire, les titres d'anticorps augmentent très rapidement avec des niveaux élevés d'IgG détectées même dans la phase aigüe. Inversement, les niveaux d'IgM sont significativement plus faibles au cours d'une seconde infection. Les échantillons avec une IgG négative dans la phase aigüe et une IgG positive dans la phase convalescente de la maladie sont caractéristiques d'une infection primaire.

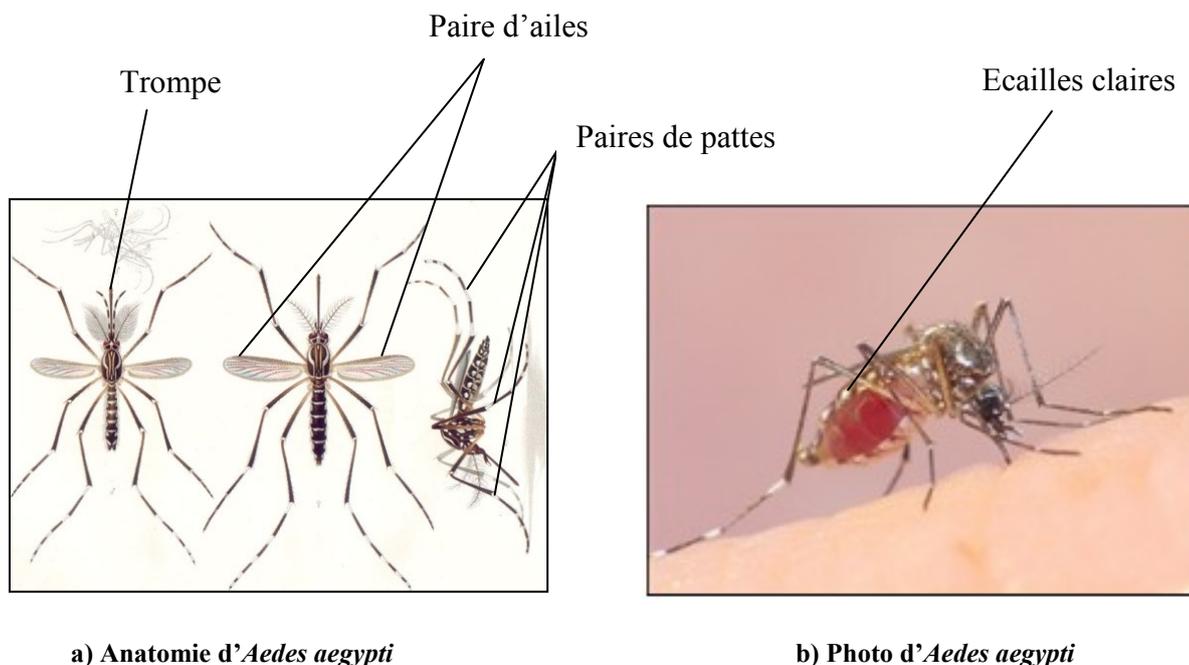
### 1.1.5 Les vecteurs de la dengue

Les vecteurs de la dengue sont des moustiques de la famille des Culicidés, du genre *aedes* et du sous-genre *Stegomyia*<sup>16</sup>. *Aedes aegypti* est le plus compétent des vecteurs de la dengue, il possède en effet la capacité de transmettre le virus à l'homme en Afrique, en Caraïbes et dans la région des Amériques notamment. Cependant, un autre vecteur *Aedes albopictus* moins compétent est plus largement répandu (PAHO, 1993). En effet, sa distribution déborde largement la zone tropicale et elle s'étend progressivement dans la région d'Amérique. Il est déjà présent dans certaines îles de la Caraïbe, mais est absent de la Guadeloupe, son éventuelle importation est surveillée de près par les autorités sanitaires de l'île.

Le moustique *Aedes aegypti* est de petite taille, l'adulte mesure entre cinq et vingt millimètres et est composé de trois parties distinctes : tête, thorax, abdomen. Son corps, rayé de noir et blanc (Rodhain, 1985) possède trois paires de pattes, une paire d'ailes et une trompe longue et sombre qui sert piquer (Figure 9 a). Des écailles claires sont présentes sur la partie dorsale au thorax, formant deux « lyres » symétriques. Elles permettent de reconnaître l'adulte d'*Aedes aegypti* rapidement et à l'œil nu (Figure 9 b).

---

<sup>16</sup> Catalogue of Life : *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762



a) Anatomie d'*Aedes aegypti*

b) Photo d'*Aedes aegypti*

Figure 9 a et b)- *Aedes aegypti*

*Aedes aegypti* est un moustique dit « domestique » qui se multiplie dans divers gîtes créés par l'homme : vases à fleurs, récipients de réserve d'eau propre, vieux pneus, etc. Les formes immatures du moustique peuvent également se retrouver dans la végétation, en particulier dans les broméliacées, plantes ornementales qui constituent des récipients d'eaux naturels à la base de leur tige (Maciel-de-Freitas, 2007). Toutefois, les broméliacées ne sont pas des gîtes très productifs de moustiques vecteurs (Mocellin, 2009), contrairement aux récipients d'eaux artificiels.

Le cycle biologique identique chez tous les moustiques se déroule en quatre stades : les œufs, les larves, les nymphes, qui correspondent à la phase aquatique et l'adulte (imago) qui constitue la phase aérienne<sup>17</sup>. De la ponte à l'émergence de l'adulte, le temps de développement est de 7 à 15 jours. L'œuf constitue une forme de résistance à la dessiccation notamment, car il peut rester à ce stade pendant plusieurs mois avant d'éclore lorsque les conditions sont favorables (Sota, 1992). Ce phénomène explique la large distribution des moustiques du genre *Aedes*, qui ont pu être transportés dans des cales de bateaux lors de transferts maritimes. Le cycle de transmission du virus de la dengue du moustique à l'homme (et inversement) compte plusieurs phases communes aux deux: la période d'incubation du virus et la phase infectante du virus (Figure 10).

Seule la femelle adulte pique, des protéines sanguines lui sont nécessaires pour mener à bien la maturation de ses œufs après accouplement. La femelle *Aedes aegypti* pique surtout pendant la journée, avec des pics le matin et le soir notamment en Afrique à des températures plus élevées (Hervy, 1976). Le moustique prend le plus souvent ses repas sanguins sur l'homme, elle est dite anthropophile. Le moustique et l'homme constituent les principaux réservoirs naturels du virus de la dengue et disséminateurs de la maladie. La durée de vie du moustique adulte est d'environ un à deux mois. Une femelle infectée conserve le virus pendant toute sa vie et peut même le transmettre à sa descendance (transmission trans-ovarienne) (Who, 2009). Elle peut infecter une ou plusieurs personnes à chaque repas

<sup>17</sup> <http://www.ilm.pf/infomoustiques>

sanguin. Lorsque les œufs sont arrivés à maturité, la femelle pond puis se nourrit à nouveau et ainsi de suite ; ceci correspond au cycle gonotrophique. La durée entre chaque repas de sang ou chaque ponte estimé entre six et sept jours (Hervy, 1977 ; Neto, 2004). La période qui sépare l'infection du moustique par un repas sanguin et l'infection des glandes salivaires est appelée cycle d'incubation extrinsèque<sup>18</sup>.

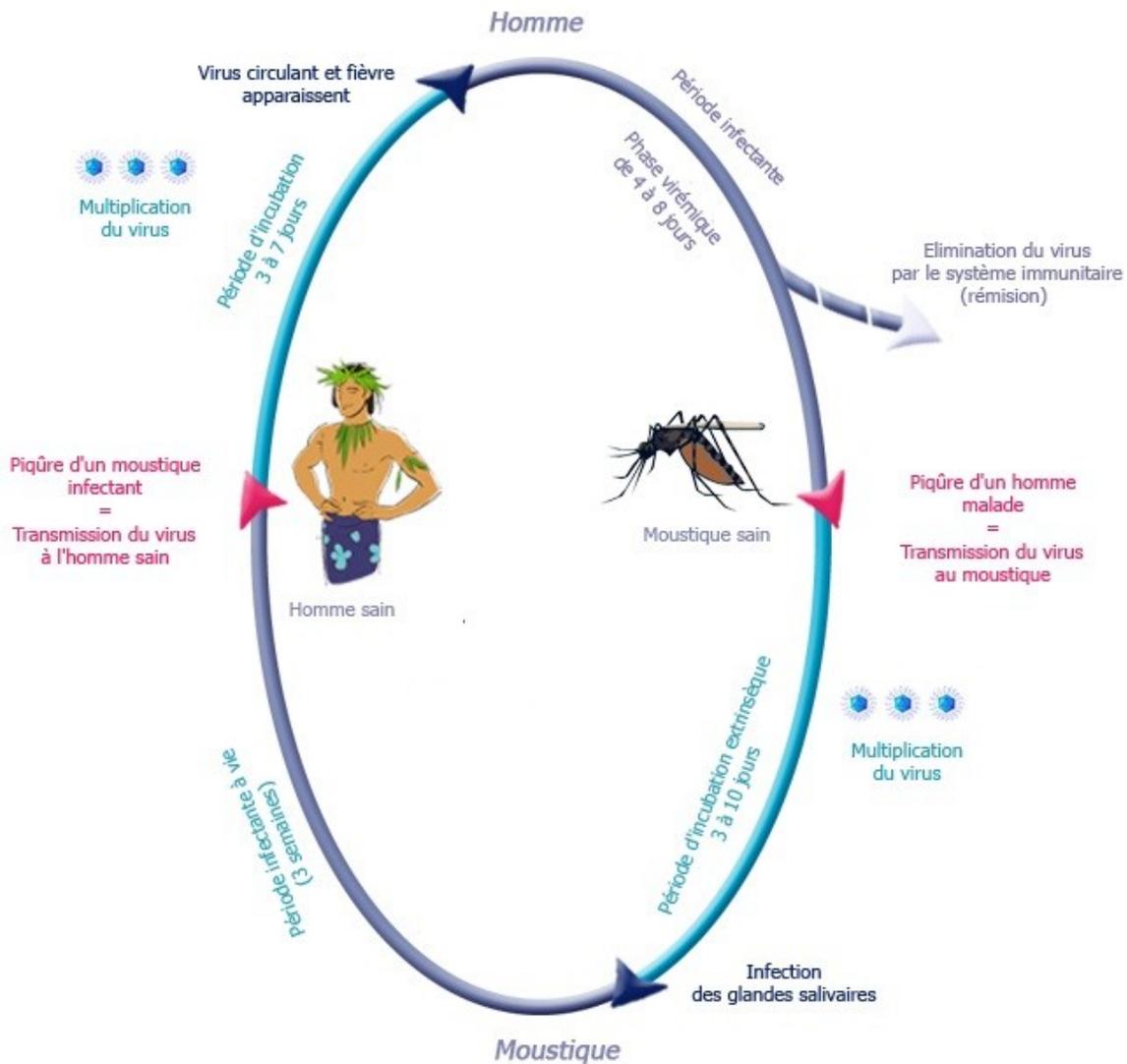


Figure 10- Cycle de transmission du virus de la dengue par le moustique *Aedes aegypti*<sup>19</sup>

Le moustique *Aedes aegypti* a un rayon de dispersion habituellement limité (comprise entre 30 et 50 mètres en moyenne)<sup>20</sup> si l'environnement est favorable ; toutefois il est capable de se déplacer plus largement, parfois aidé par le vent qui peut le transporter à des kilomètres de leur lieu d'éclosion. Par ailleurs, *Aedes aegypti* peut avoir une susceptibilité différente par rapport à l'infection de la dengue et également une importante variabilité génétique (Yébakima, 2004).

<sup>18</sup> [http://west-nile.cirad.fr/la\\_maladie\\_en\\_bref/le\\_cycle\\_de\\_la\\_maladie](http://west-nile.cirad.fr/la_maladie_en_bref/le_cycle_de_la_maladie)

<sup>19</sup> <http://www.ilm.pf/infodengue>

<sup>20</sup> <http://www.guyane.sante.gouv.fr/spip.php?article39>

### 1.1.6 Les moyens de lutte

En l'absence de vaccin et de traitement spécifique, la lutte anti-vectorielle contre *Aedes aegypti* demeure la principale manière de stopper la propagation du virus. La lutte contre la dengue demande la participation coordonnée de multiples acteurs complémentaires, dans les domaines de la santé publique, de l'entomologie, de la démoustication, de la clinique, de la biologie et de la communication sociale.

Il existe plusieurs formes de lutte :

- contrôle mécanique : suppression des gîtes larvaires ;
- contrôle biologique : utilisation d'agents prédateurs ou parasites (utilisation d'une toxine produite par la bactérie *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) ou des produits mimétiques des hormones de croissance des insectes Insect Growth Regulators (IGR) ;
- contrôle chimique : insecticides organo-phosphorés (téméphos contre les larves, malathion contre les adultes).

Toutefois, une directive européenne interdit l'utilisation de produits organo-phosphorés depuis 2009 (Michel, 2009). De plus, il a été observé dans les Antilles, en particulier en Martinique que le moustique *Aedes aegypti* a développé des résistances contre les produits actuellement utilisés comme le téméphos (Marcombe, 2011). Par conséquent, les insecticides d'origine chimique et/ou biologique doivent être utilisés avec parcimonie et de manière rationnelle. La question de la stratégie anti-vectorielle la plus efficace devient donc de plus en plus difficile à résoudre (Hemingway, 2000). Dans cette situation, l'implication de l'ensemble des acteurs est primordiale (BASAG, 2008), ce qui n'est pas le cas, notamment de la population. Pourtant, avec une bonne information, celle-ci pourrait participer à l'éradication et au contrôle de la propagation du moustique. Plusieurs actions telles la destruction des lieux de ponte (gîtes larvaires), la protection des récipients de stockage d'eau, le changement d'eau des vases à fleurs, la coupe et le ramassage des divers végétaux et autre autour de son habitat, sont efficaces. Ces actions présentent un avantage financier non négligeable par ailleurs pour la collectivité ; malheureusement l'implication de la population sur le terrain se révèle la plupart du temps inconstante ou irrégulière, ce qui oblige le personnel de lutte anti-vectorielle à faire plusieurs interventions aux mêmes domiciles touchés par la dengue (Figure 11). L'assainissement du milieu paraît également essentiel au regard des liens étroits du vecteur avec son environnement.



Figure 11- Campagne d'éradication du moustique vecteur <sup>21</sup>

<sup>21</sup><http://www.defense.gouv.fr/var/dicod/storage/images/base-de-medias/images/actualites/images-actu/eradication-moustique/788452-1-fre-FR/eradication-moustique.jpg>

Une autre forme de lutte est la réduction de la durée de vie du moustique vecteur. Cette réduction permet en effet de réduire la probabilité qu'un vecteur s'infecte et lorsqu'il est infecté de diminuer le nombre de personnes qu'il peut infecter. Une étude menée par des chercheurs Australiens a été menée dans des conditions de laboratoires: elle consistait à inoculer une bactérie nommée *Wolbachia pipientis*, genre bactérien symbiotique infectant essentiellement des arthropodes. Dans le moustique, l'association s'est montrée stable sous condition de laboratoire et a permis de réduire de moitié la durée de vie des moustiques *Aedes aegypti*. Ainsi, l'injection de la bactérie dans le moustique a induite une incompatibilité cytoplasmique complète, ce qui faciliterait son invasion dans les populations naturelles et sa persistance au cours du temps. En effet, les moustiques ont le temps de se reproduire avant de mourir, produisant ainsi encore plus d'insectes infectés par *Wolbachia*. Les travaux suggèrent que l'infection des moustiques par *Wolbachia* pourrait devenir une stratégie viable pour réduire la transmission de pathogènes tels que le virus de la dengue. Plus récemment, il a été découvert que la souche wMel du *Wolbachia* avait la capacité de bloquer la transmission de la dengue (sérototype 2 en particulier) ainsi d'envahir les populations d'*Aedes aegypti* (Walker, 2011). The génome wMel correspond à un ADN simple brin de 1,267,782 paires de bases avec une proportion de paire de nucléotides Guanine-Cytosine de 35.2%. En outre, ce génome contient de très hauts niveaux d'ADN répétitives (Wu, 2004). Les infections par la souche bactérienne wMel de *Wolbachia* peuvent aussi directement influencer la susceptibilité des insectes d'infecter d'autres insectes et les humains (Moreira, 2009). Ces résultats positifs peuvent constituer dans le futur une stratégie viable dans la réduction de la transmission du pathogène (McMeniman, 2009)

L'élaboration d'un vaccin contre la dengue est devenue une priorité de santé publique. Le challenge majeur pour le développement d'un vaccin est la nécessité de produire des réponses protectrices pour les quatre sérotypes du virus de la dengue. Une équipe américaine a développé en 2008 deux vaccins bivalents, en utilisant un vecteur complexe d'adénovirus, et en incorporant les gènes codant pour l'enveloppe des virus de dengue 1 et 2 d'une part et dengue 3 et 4 d'autre part. Des essais sur des macaques inoculés ont démontré une protection significative pour les quatre sérotypes du virus de la dengue (Raviprakash, 2008).

Le vaccin tétravalent élaboré en 2010 contre la dengue de Sanofi Pasteur est le vaccin candidat dont le développement est le plus avancé<sup>22</sup> (Lang, 2009). Le vaccin candidat de Sanofi Pasteur France, qui cible les quatre sérotypes du virus de la dengue a été évalué au cours d'études cliniques de phase III chez des adultes et des enfants aux Etats-Unis, en Asie et en Amérique latine avec 31 000 participants. Une étude en cours d'évaluation est menée en Thaïlande sur 4 002 enfants âgés de 4 à 11 ans a été réalisée dans le district de Muang (province de Ratchaburi). Le vaccin candidat est stable génétiquement et phénotypiquement (Guy, 2011). Le vaccin a généré une réponse immunitaire contre les quatre sérotypes du virus de la dengue et la protection a été démontrée contre trois des quatre sérotypes du virus circulant en Thaïlande. Les résultats détaillés seront présentés à la communauté scientifique d'ici à la fin de l'année 2012<sup>23</sup>. Globalement, une réponse immunitaire contre les quatre sérotypes du virus responsable de la dengue a été observée après trois doses du vaccin candidat. Le vaccin est bien toléré, avec un profil de sécurité similaire après chacune des doses. Un vaccin commercialisable est attendu pour 2015-2016.

---

<sup>22</sup> Dengue vaccine efficacy trials in progress, volume 9, November 2009

[www.thelancet.com/infection](http://www.thelancet.com/infection)

<sup>23</sup> <http://www.france24.com/fr/20120725-sanofi-preuve-defficacite-son-vaccin-contre-dengue>

## 1.2 La Guadeloupe

### 1.2.1 Situation géographique

La Guadeloupe est l'un des trois Départements Français d'Amérique (DFA) avec la Martinique et la Guyane. Cette région ultrapériphérique située au cœur de l'Arc Antillais en Amérique est située entre 15°59' et 16°40' de latitude nord et 61°10' ; 61°50' de longitude ouest. D'une superficie de 1785 kilomètres carrés, elle est composée de la Guadeloupe continentale proprement dite (Grande Terre et Basse Terre) et des dépendances : La Désirade, Les Saintes et Marie-Galante<sup>24</sup>.

Le climat y est globalement chaud et humide mais il existe plusieurs microclimats. La température annuelle oscille entre 20 et 30°C avec une moyenne annuelle de 25°C. Deux saisons principales se succèdent : la saison sèche ou Carême de janvier à avril, caractérisée par un alizé stable et la saison humide ou Hivernage de juillet à novembre, pendant laquelle les alizés apportent les pluies (Rossignol, 1989). Toutefois, les mois de mai, juin et décembre peuvent se révéler comme étant des mois pluvieux. Cette période correspond aux développements et passages possibles de perturbations tropicales telles que les ondes, dépressions et ouragans (David en 1979, Hugo en 1989, etc.).

L'alizé, un vent constant venant de l'Est joue un rôle majeur dans ces différences climatiques. Il agit sur les différences climatiques observées entre différentes parties de l'île. Son action, appelée « effet de Foehn » crée deux zones d'influence juxtaposées, marquées par des différences pluviométriques importantes: une zone « aux vents » plus humide et arrosée et une zone « sous le vent » recevant moins d'eau (Berry, 1996). C'est le relief de la Basse-Terre qui crée cette démarcation. D'autres facteurs influent également sur le climat local telle la distance à la côte et le relief. Le climat tropical offre à la Guadeloupe une grande richesse de milieux naturels avec rivières, forêts marécageuses, mangroves et marais herbacés. La Grande Terre est plate et aride alors que la Basse-Terre est montagneuse avec le volcan la Soufrière qui constitue le point culminant de la Guadeloupe (1467 mètres d'altitude). Cette dernière est plus humide que la Grande-Terre avec une forêt dense incluant le Parc Naturel de la Guadeloupe. La gestion des terres naturelles, agricoles ainsi que les contraintes dues au milieu physique est important dans l'occupation des sols et la dynamique des populations. Les sols naturellement riches sont propices pour le développement agricole avec principalement la culture de la canne à sucre, de la banane ainsi que la production maraîchère<sup>25</sup>.

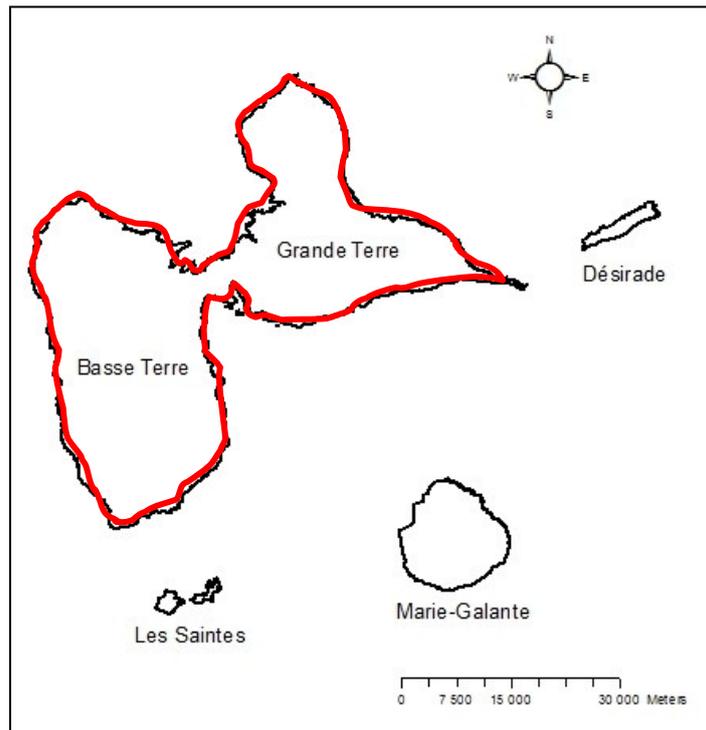
La Figure 12 montre la localisation de la Guadeloupe dans le contexte Caraïbéen alors que la limitation de la zone d'étude et répartition des communes sont illustrées dans la Figure 13. La Guadeloupe et ses dépendances comptent 32 communes (26 pour la Guadeloupe dite continentale, 6 pour les dépendances). Il existe deux principaux pôles Pointe-à-Pitre, concentrant une majorité de commerces ainsi que les équipements de santé et les services publics et Basse-Terre, chef lieu de la Guadeloupe qui regroupent entre autres des emplois administratifs. La commune de Baie-Mahault regroupe une importante zone industrielle, Jarry.

<sup>24</sup> [http://www.crguadeloupe.fr/archipel/?ARB\\_N\\_ID=731&ARB\\_N\\_S=732](http://www.crguadeloupe.fr/archipel/?ARB_N_ID=731&ARB_N_S=732)

<sup>25</sup> [http://www.cr-guadeloupe.fr/amenagement/?ARB\\_N\\_ID=687&ARB\\_N\\_S=690](http://www.cr-guadeloupe.fr/amenagement/?ARB_N_ID=687&ARB_N_S=690)



Figure 12- Carte de la région Amérique-Caraïbes<sup>26</sup>



a) La Guadeloupe et ses dépendances

<sup>26</sup> Sa majesté la reine du chef du Canada, Ressources naturelles Canada ([www.atlas.gc.ca](http://www.atlas.gc.ca), 2003)  
<http://www.e-voyageur.com/atlas/Caraibes.jpg>



b) Répartition des communes

Figure 13- Zone d'étude en rouge en a) et la répartition des communes de la Guadeloupe continentale en b)

### 1.2.2 Situation socio-économique

L'économie de la Guadeloupe est basée principalement par les transferts publics et les importations. Les biens d'équipements et de consommation sont essentiellement importés de la métropole. La Guadeloupe a importé en 2000 pour 1,6 milliard d'euros, dont 63,5% provenaient de France et 15,14% d'Europe alors qu'elle n'a exporté que pour 0,1 milliard d'euros, quinze fois moins que ce qui a été importé<sup>27</sup>. En 2010, le montant des importations a progressé pour atteindre 2,27 milliards d'euros où plus de la moitié des produits importés (61%) proviennent de France métropolitaine<sup>28</sup>. Néanmoins, le département possède un niveau de vie élevé par rapport aux pays voisins de la Caraïbe et se situe ainsi parmi les quatre îles les plus riches de la Caraïbe avec les Bahamas, la Martinique et Puerto-Rico avec un Produit Intérieur Brut (PIB) de 11602 euros par habitant<sup>29</sup>.

Le contexte socioéconomique en Guadeloupe est déterminé par l'expansion démographique. La population du département augmente depuis les années 1960, passant de 300 000 en 1965 à plus de 400 000 habitants au début des années 2000 (Figure 14). Depuis les années 1980, la population de l'île augmente plus fortement qu'en France métropolitaine<sup>30</sup>.

<sup>27</sup> Les caractéristiques socio-économiques de la Guadeloupe (FEDER et Région Guadeloupe)

<sup>28</sup> [http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg\\_id=26&ref\\_id=17712](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=26&ref_id=17712)

<sup>29</sup> Chiffres INSEE 2000

<sup>30</sup> Schéma départemental de l'Enfance, de la Jeunesse et de la Famille, 2008-2012- Conseil général de la Guadeloupe

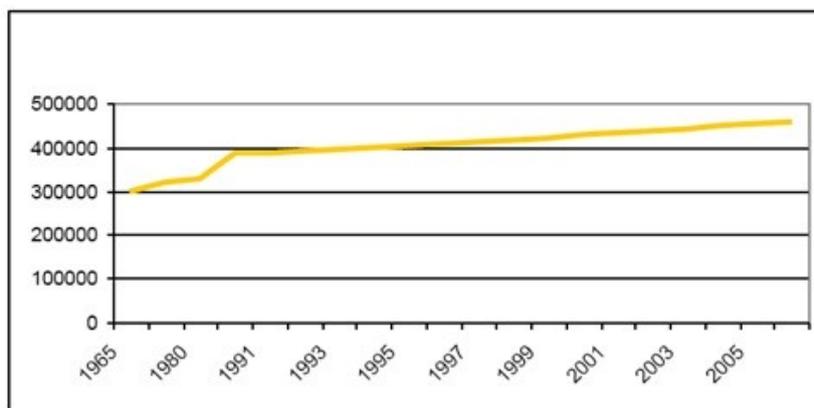


Figure 14- Evolution de la population de la Guadeloupe depuis 1965 <sup>31</sup>

Néanmoins, l'évolution de la population entre 1999 et 2008 est hétérogène, avec une augmentation ou une diminution des taux de croissance selon les communes (Figure 15). Début 2007, la population de la Guadeloupe était estimée à un peu plus de 450 000 habitants. Toutefois, la Guadeloupe connaît depuis une stabilisation du nombre d'habitants du fait d'une baisse du nombre des naissances et de l'émigration des jeunes adultes.

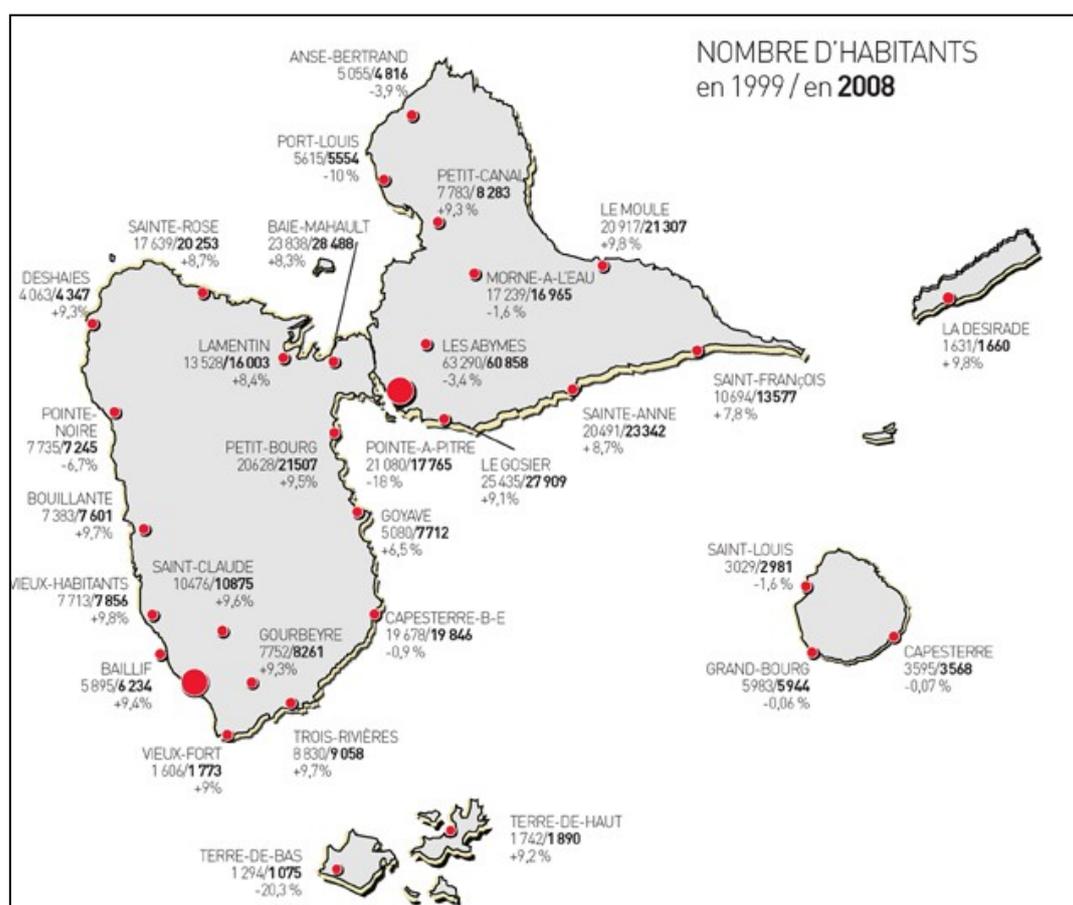


Figure 15- Répartition de la population en 1999/2008 <sup>32</sup>

<sup>31</sup> INSEE, RGP et recensements provisoires depuis 2005

<sup>32</sup> <http://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/societe-social-emploi/la-population-de-la-guadeloupe-commune-par-commune-06-01-2009-19616.php>

## 1.3 La situation sanitaire

### 1.3.1 Contexte Guadeloupéen

En Guadeloupe, le mode de transmission de la dengue est endémo-épidémique : cela signifie une circulation permanente tout au long de l'année du virus dans la région avec une augmentation et un regroupement de cas de dengue (foyers) correspondant à des épidémies (Cassadou, 2007). Dans cette optique, le Programme de Surveillance, d'Alerte et de Gestion des Epidémies de dengue (PSAGE dengue) dans les Départements Français d'Amérique (DFA) a été mis en place par les autorités publiques. Selon le risque épidémique, une graduation des stratégies de surveillance et de contrôle de la dengue est appliquée.

La surveillance épidémiologique de la dengue dans la région est structurée selon plusieurs périodes :

- a) La phase inter-épidémique : la transmission est sporadique durant la saison sèche (de février à juin-juillet) et plus élevée durant la saison des pluies.
- b) La phase épidémique : elles correspondent à l'apparition de foyers épidémiques, en général pendant la saison des pluies (entre juillet et janvier).
- c) La phase de pré-alerte : une augmentation du nombre hebdomadaire de cas au-delà du seuil établi à partir des données de surveillance des années antérieures est observée. Cela signifie une circulation accrue du virus. Cette augmentation peut être associée ou non à l'émergence d'un sérotype n'ayant pas été détecté depuis plusieurs années. Le risque de développement possible d'une épidémie est à considérer (Cassadou, 2007).

### 1.3.2 Modalités de la surveillance épidémiologique de la dengue

Une évaluation des modalités de la surveillance épidémiologique de la dengue dans les trois DFA a été réalisée suite à l'épidémie survenue en Martinique en 1997 qui a causé neuf décès et la question de la détection et de la définition des cas de dengue a alors été posée. En effet, la gravité et l'apparition de formes hémorragiques varie d'un individu à l'autre, que l'on soit en présence d'une primo-infection ou non.

La définition des cas de dengue dans les Antilles-Guyane tient compte des informations fournies à partir de trois sources : hôpitaux et cliniques (cas hospitalisés et formes graves), réseau de médecins sentinelles (cas suspects) et laboratoires (cas confirmés et sérotypes circulants).

Deux types de cas sont définis :

- a) Les cas suspects cliniquement évocateurs comprenant des patients présentant depuis moins de 7 jours :
  - une fièvre ( $\geq 38,5^{\circ}\text{C}$ ) de début brutal,
  - sans point d'appel infectieux,
  - avec au moins un signe algique (céphalées, douleurs rétro-orbitaires, myalgies, arthralgies, lombalgies).

- b) Les cas biologiquement confirmés : cas suspect confirmés par des tests de sérologies ou d'amplification de la l'ADN viral (PCR), méthode d'analyse qui permettent de savoir le sérotype du virus impliqué chez le patient<sup>33</sup>.

Les cas suspects sont détectés par un réseau de médecins sentinelles répartis sur l'ensemble du territoire à l'exception de quelques communes (Figure 16). Le réseau est constitué de médecins de villes, volontaires, qui fournissent des informations régulières relatives à des pathologies multiples (syndrome dengue-like, gastro-entérite, conjonctivite, syndrome grippaux, etc.) rencontrées au cours de leur activité quotidienne dans leur cabinet (Quénel, 2008). L'ensemble des membres du réseau sentinelle recueille en routine les données de santé: il s'agit d'une surveillance active (Huy, 2010). Ces données recueillies permettent l'élaboration d'un critère d'alerte pour la détection précoce des épidémies de dengue dans la région (Quénel, 2008).

Les médecins sentinelles constituent l'un des dispositifs de surveillance dans les Antilles françaises. Les premiers réseaux de médecins sentinelles ont été créés dès 1983 en Guadeloupe et en 1984 en métropole. Il est animé à ses débuts par le Médecin Inspecteur de la Direction de la Santé et du Développement Social (DSDS) (initialement de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS)) et une à deux infirmières de Santé Publique. Au fil des années, ce réseau, répartis sur l'archipel, s'élargit: 18 médecins en 1983, 33 en 1998 et 44 en 2008 pour la Guadeloupe dite « continentale » et les îles proches. En 2008, les médecins du réseau représentent 12% des généralistes de Guadeloupe continentale et en terme d'activité médicale 20,4% de l'activité de l'ensemble des médecins.

Un autre type de surveillance de nature biologique, la surveillance virologique, est utilisé également dans le suivi de la situation épidémiologique. Il concerne les prélèvements des patients présentant un syndrome dengue-like, recueillis par l'ensemble des laboratoires de biologie médicale du territoire.

---

<sup>33</sup> [http://212.234.146.165/presse/2010/le\\_point\\_sur/def\\_cas\\_chikdengue/index.htm](http://212.234.146.165/presse/2010/le_point_sur/def_cas_chikdengue/index.htm)

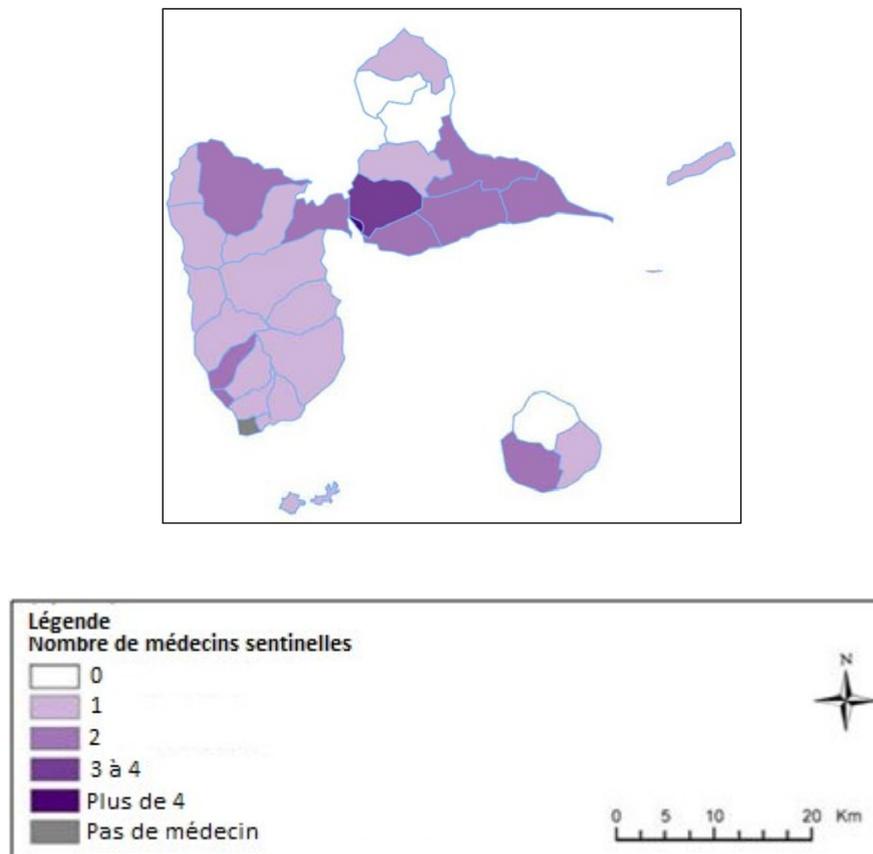


Figure 16 - Répartition des médecins sentinelles dans les différentes communes de Guadeloupe et îles proches en 2008<sup>34</sup>

### 1.3.3 Coût socio-économique

L'impact économique d'une épidémie est difficile à évaluer pour une population dans la mesure où les conséquences d'une telle situation n'ont fait, que récemment, l'objet d'étude. En effet, l'étude d'épidémie ne prend pas souvent en compte la charge totale de la maladie sur une population. Le coût total comprenant la perte de travail et de productivité, l'absentéisme à l'école, la diminution du nombre de touristes et/ou les perturbations sociales est encore trop rarement pris en compte. Par ailleurs, le nombre d'infections totales reportées est le plus souvent sous estimé du fait qu'une proportion des cas de dengue sont asymptomatiques (Balmaseda, 2006) et ne sont donc pas observables, également certains malades préfèrent utiliser l'automédication au lieu d'aller consulter un médecin. En conséquence, l'investissement de sommes importantes dans la lutte contre la maladie se pose d'autant plus que la dengue possède un taux relativement bas de cas mortels.

Un index non monétaire développé par la Banque Mondiale appelé 'disability-adjusted life years' (DALY's), a été créé afin de mesurer l'impact total de la morbidité et de la mortalité d'une maladie sur une population (Murray, 1994). Il a été également montré qu'en plus des périodes épidémiques, il existe une charge considérable de la maladie durant les périodes inter-épidémiques liée aux coûts indirects non reportés (coûts économiques). Les infections de dengue entraînent ainsi à des effets économiques négatifs dans plusieurs pays tropicaux.

<sup>34</sup> Cire Antilles Guyane

Une étude entre 2001 et 2007 dans les Amériques montre que le coût estimé de la maladie est de 2,1 milliard d'euros par an en moyenne (Shepard, 2011). L'impact de la dengue sur l'économie peut être important avec des pertes en productivité. Une semaine de maladie peut être catastrophique pour les familles nécessiteuses et avoir des conséquences sur la population en général. A titre d'exemple, l'épidémie de DF/DHF à Puerto Rico en 1977 a coûté entre 2,4 et 4,7 millions de dollars de coûts médicaux et entre 6 et 15 millions pour les coûts indirects (coûts économiques en perte de travail, productivité, etc.) non médicaux (Meltzer, 1998). A cela, s'ajoute le retentissement négatif sur un pays touristique comme la Guadeloupe avec des pertes économiques par la diminution du nombre de visiteurs. En Inde, dans une étude de 2006, le prix médian du traitement par patient hospitalisé lors d'une épidémie de dengue est de 432 dollars avec des pertes économiques considérables (Purohit, 2001 ; Garg, 2008).

## 1.4 Les facteurs environnementaux

### - le milieu naturel

La biosphère de la Guadeloupe s'étend sur une superficie de 72 380 hectares (ha) comprenant le Parc National de la Guadeloupe, les zones humides et le secteur marin du Grand Cul de Sac Marin. La zone humide s'étend sur une superficie de 24 150 ha (dont 6.250 ha pour la partie terrestre). Le Parc National s'étend sur 33 500 ha soit 20% du territoire de la Guadeloupe. La Réserve Naturelle du Grand-Cul-de-Sac-Marin possède une superficie de 3 706 ha (dont 2.115 ha situés en mer) (Levesque, 2007). La Figure 17 illustre la répartition des espaces naturels en Guadeloupe.

### - le milieu agricole

La révolution industrielle a conduit à une accentuation de la production agricole. La première moitié du XX<sup>e</sup> siècle a été la période la plus florissante pour l'agriculture en Guadeloupe avec une production agricole diversifiée. Par la suite, les guerres et les crises économiques en Europe ont rendu les importations difficiles et chères. La décennie 60, nouveau tournant, marque le début de l'actuelle période de régression de l'agriculture en Guadeloupe, les productions agricoles de la Métropole devenant progressivement excédentaires. La production locale doit faire face également à la concurrence. Au cours de la dernière décennie, la production bananière, elle aussi, est entrée dans une phase de régression<sup>35</sup>. L'agriculture en Guadeloupe est marquée par sa spécialisation et sa dépendance extérieure puisque toutes les ressources du territoire sont orientées pour réaliser une production tropicale à exporter vers la Métropole. Les filières canne à sucre et banane dominent le marché, les autres cultures sont vivrières, maraîchères et florales.

---

<sup>35</sup> Marc MARDIVIRIN Producteur de bananes, vice-président du CES, comité de Direction de l'Office de développement de l'économie agricole des départements d'outre-mer (ODEADOM), Guadeloupe

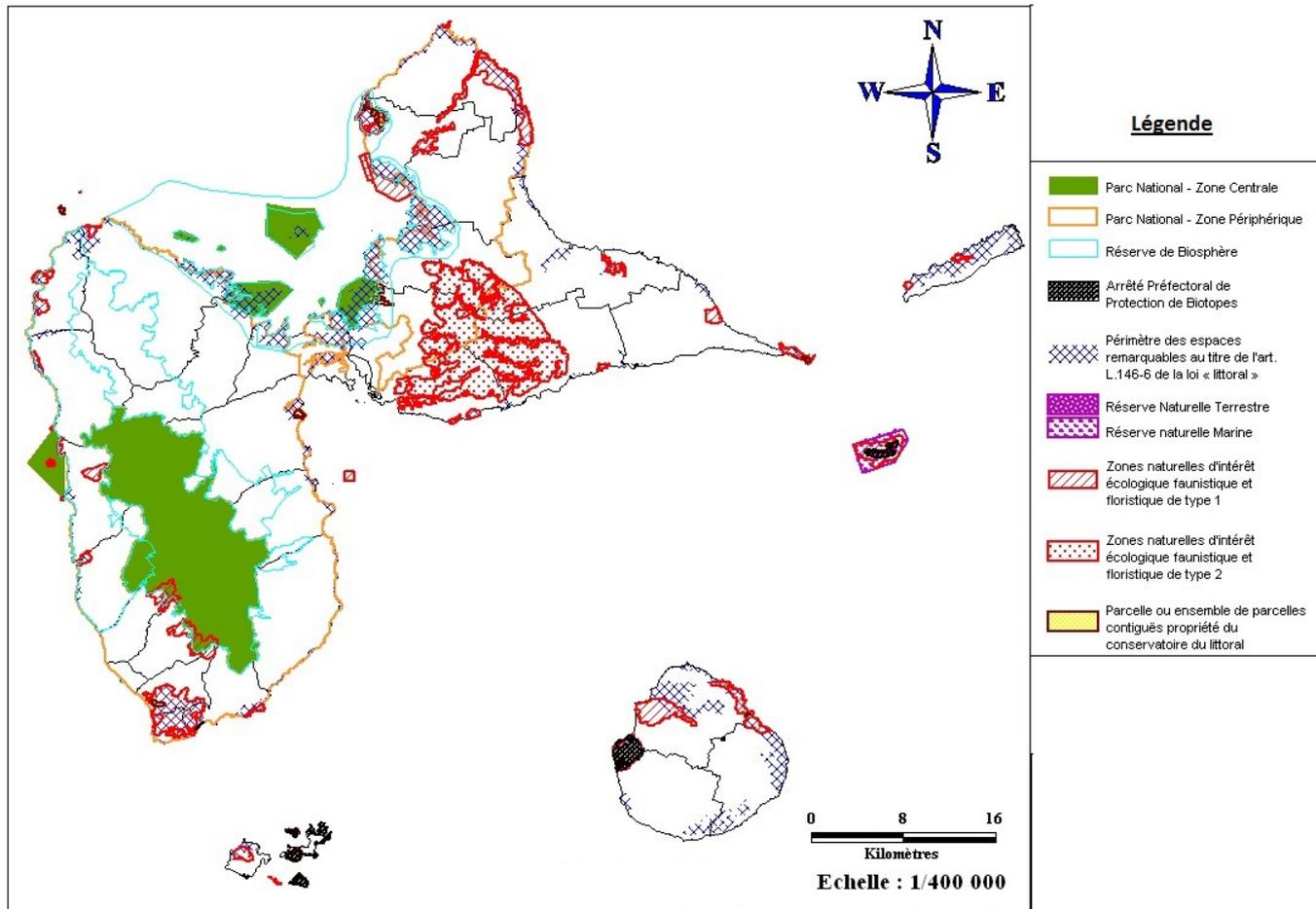


Figure 17- Localisation des espaces naturels<sup>36</sup>

Le département de la Guadeloupe est constitué de 21 zones agricoles regroupées en six secteurs occupant 80% de la surface agricole utilisée: en Grande-Terre, on distingue le Nord de Grande-Terre, les Grands-Fonds et la zone côtière Sud-est alors qu'en Basse-Terre, on a le Nord Basse-Terre et la Côte-au-Vent Est. Le sixième secteur est Marie-Galante<sup>37</sup>. La Figure 18 montre la localisation des terres cultivées déclarées en 2008 grâce au Registre Parcelaire Graphique (RPG), correspondant aux parcelles agricoles déclarées par les exploitants.

<sup>36</sup> Direction de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt (DAAF 971)

<sup>37</sup> Répartition des zones agricoles (FEDER, Région Guadeloupe)

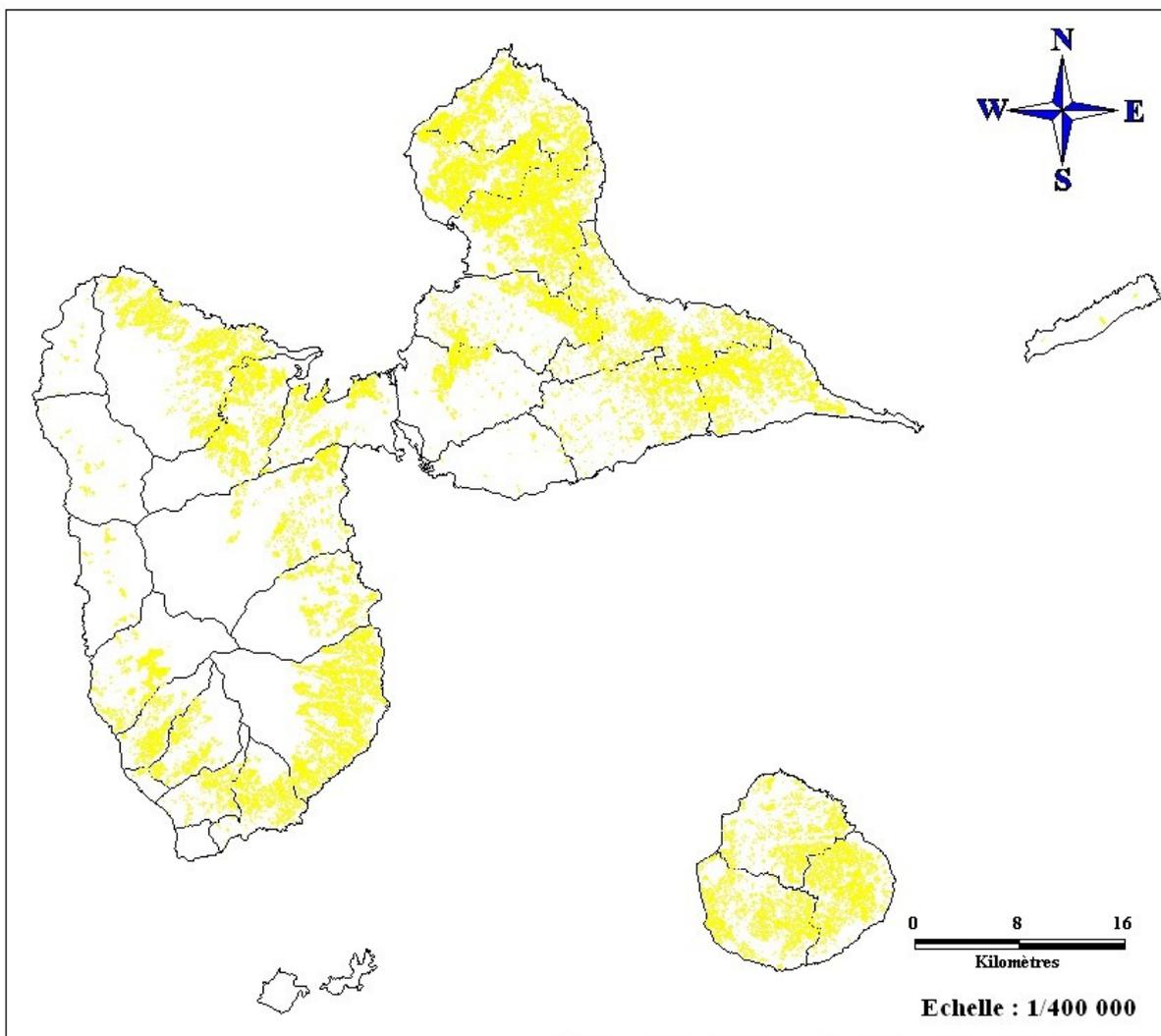


Figure 18- Localisation des zones cultivées en Guadeloupe<sup>38</sup>

### 1.4.1 Les différentes entités liées à l'habitat

Les villes constituent un système hiérarchisé avec une classification dépendant de la taille et de la fonction : on distingue ainsi les villages, les bourgs, les villes et les villes capitales (Cantillon, 1755). Les termes de "rural" et « urbain » font état d'une différence au niveau des dimensions spatiales et sectorielles. Une opposition entre la tradition et la modernité a été durablement faite entre villes et campagnes car la ville était synonyme d'immigration des populations des campagnes, principalement pour des raisons économiques. Chaque ville a sa propre histoire par rapport au phénomène d'urbanisation ; tout un ensemble de relations d'interdépendance entre une ville et son environnement existe, notamment entre la population, l'urbanisation et le développement.

Dans la réalité, les choses sont souvent plus nuancées, la définition de la ville pouvant être très différente selon les pays considérés. Sur le terrain, les frontières sont plus floues que celles représentées par les délimitations administratives. Ces différents types d'urbanisation

<sup>38</sup> Direction de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt (DAAF 971)

posent la question de la délimitation et des contours des agglomérations urbaines. On assiste ainsi dans certains cas à l'étalement urbain, dépendant de la taille, de la densité démographique et en partie du type d'habitat de la ville considérée. L'évolution dans le temps peut conduire à une augmentation des densités de la ville c'est-à-dire le centre ou au contraire à l'extension de zones périurbaines avec le mode de l'habitat individuel. Néanmoins, l'extension spatiale des agglomérations urbaines dépend de facteurs économiques et sociaux.

Depuis le XIXe siècle et la révolution industrielle, on observe une progression importante de l'urbanisation ; en 1950 la population urbaine est de 29% dans le monde alors que 50 ans plus tard elle représente 50% de la population mondiale. En 2030, ce chiffre monterait à 60% (United Nations, 2004). La Caraïbe a connu une longue histoire de domination urbaine par les villes portuaires capitales, notamment durant les années 1960 et 1970. Dès 1844, un recensement des îles Britanniques indiquait que 15% des populations de Grenade et Montserrat et 25% des habitants d'Antigua vivaient dans les villes les plus importantes (Hudson 1989). Après la Seconde Guerre Mondiale, il y eut une augmentation de la migration du rural vers l'urbain. En 1950, il y avait sept villes seulement avec une population excédant les 100 000 habitants, en 1970 le nombre est monté à 12 (Potter, 1989) et à 25 en 1990. Aujourd'hui, les populations urbaines sont en augmentation avec des taux de progression approximativement deux à trois fois supérieurs à ceux des pays les plus développés d'Europe. Comparé aux autres régions majeures du monde, le niveau d'urbanisation dans la Caraïbe occupe une position intermédiaire. Ainsi il est observé de larges variations concernant le niveau d'urbanisation, avec 90% en Guadeloupe (la plus élevée) et 21% pour Saint Vincent pour la valeur la plus faible. Le pourcentage élevé dans les pays les plus développés est habituellement attribué à l'industrialisation et à la modernisation ; en effet des études dans différents pays à travers le monde ont prouvé une relation positive entre le niveau d'urbanisation et le revenu par habitant (Drakakis- Smith, 1981).

### 1.4.2 Contexte Guadeloupéen

L'urbanisation en Guadeloupe a connu plusieurs phases durant son histoire. Les premières traces relatant l'urbanisation remontent au temps de la colonisation. Au temps de l'esclavage, l'économie de plantation apparaissait, créant ainsi d'une part des habitations modernes où résidaient les maîtres et les cases en bois précaires, où logeaient les esclaves. Durant le 18<sup>ème</sup> siècle, la Guadeloupe voit se former des bourgs et des villes. Ces bourgs se développent plutôt sur le littoral le long de la côte permettant aux habitants d'exporter leurs produits. Suite à l'abolition de l'esclavage en 1848, des faubourgs et petits centres émergent grâce à l'industrialisation sucrière et sa forte demande en main d'œuvre. Un exode rural vers les zones urbaines a lieu à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle suite au déclin de cette économie. Les populations s'installent également dans les périphéries des agglomérations.

Suite au passage du violent cyclone de 1928, la Guadeloupe voit la plupart de ses équipements et bâtiments publics détruits. Par la suite, plusieurs types de constructions (hospitaliers, judiciaires, etc.) sortiront de terre afin de reconstruire le département.

Dans les années 1940 et 1950 deux tendances fortes se dégagent en termes d'urbanisation :

- a) les logements sociaux, constituant des habitats regroupés à forte densité de population généralement défavorisées.
- b) Un habitat individuel destiné principalement à cette période aux fonctionnaires.

Dans les années 1960 et 1970, la Rénovation Urbaine de Pointe à Pitre (RURAP) est mise en place, provoquant le départ des populations des campagnes et des bourgs vers cette ville de Pointe-à-Pitre. Ainsi les quartiers hors agglomération croissent, avec le développement des secteurs secondaires et tertiaires. La dernière grande évolution de l'urbanisation est le développement de l'habitat individuel à partir des années 1980 jusqu'à nos jours, accompagné également de lotissements qui voient le jour via les programmes sociaux (CAUE, 1999). Toutefois, la répartition des bâtis peut être contrainte par des transitions abruptes dans le paysage et le relief que la montagne, les rivières, etc. (le parc national en particulier en Guadeloupe).

Actuellement, deux tendances se dégagent concernant les habitations :

- Elles se développent dans les zones peu anthropisées voire protégées. Elles sont alors de plus en plus entourées de végétation, certaines jouxtent même avec le milieu naturel ;
- Elles sont dans de nombreux cas bâties selon de nouveaux critères de construction c'est-à-dire selon un même modèle apparaissant dans cet environnement.

## 1.5 Problématique générale

Le contexte environnemental de la Guadeloupe est en constante évolution du fait des modifications sociodémographiques majeures qui sont apparues ces dernières décennies. Les modifications de l'environnement, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique, ont des implications importantes dans de nombreux secteurs: économique, social et sanitaire. Pour ce dernier secteur, l'impact des modifications environnementales reste encore méconnu. Pourtant, des craintes légitimes s'accumulent actuellement, liées à l'apparition d'un contexte de plus en plus favorable au développement et à l'extension des maladies transmissibles, dont la dengue comme l'illustre la Figure 1. Dans ce contexte, il apparaît indispensable de conduire des études pour analyser l'impact pour le futur, des modifications majeures qui se mettent en place actuellement. L'urbanisation en particulier constitue l'un des facteurs prépondérants dans l'émergence ou la réémergence d'épidémies de dengue dans les pays tropicaux, selon leur degré de développement (Kendall, 1991). Ceci s'applique d'autant plus aux Antilles et à la Guadeloupe en particulier car l'île a des terres non extensibles et une population qui ne cesse de croître, d'où une pression démographique plus forte.

L'étude globale a pour objet d'analyser les relations existant entre les caractéristiques de l'habitat et le risque de transmission de la dengue et la morbidité liée à la maladie. Ainsi, l'analyse de l'évolution de la situation épidémiologique de la dengue et la définition des différents contextes d'habitation existant en Guadeloupe à partir des facteurs liés à la dengue seront étudiées.

S'agissant de l'étude épidémiologique des cas de dengue, le calcul de l'incidence des cas de dengue sera fait à différentes échelles géographiques. Elle permettra de mettre en évidence l'évolution de la maladie depuis le début des années 2000 et de dégager une tendance à l'aggravation ou non de la situation épidémiologique dans le département. Une classification originale des différents contextes d'habitation sera également établie, basée sur deux types de variables principales: physiques comprenant entre autres la densité de bâti et socio-démographiques tels le nombre de constructions en dur par exemple. En effet, une simple transposition de ces facteurs aux classifications de données de terrain déjà existantes ne permettra pas un suivi précis des indicateurs physiques et socio- démographiques car les classifications actuelles ne sont pas adaptées spatialement aux problèmes liés à la dengue. Par ailleurs, l'intégration des variables humaines et physiques dans les SIG utilisés à la

compréhension de la maladie est nécessaire afin de mieux délimiter les zones à risque. Ces deux types de variables se révèlent être essentiels car ils jouent un rôle important dans le domaine de la santé, et plus particulièrement des maladies à transmission vectorielle. Cette classification devrait permettre ensuite de décrire la répartition des différents contextes sur le territoire et d'obtenir des indicateurs qui pourront être analysés en relation avec les données sanitaires et qui pourront être suivis dans le temps.

L'étude épidémiologique et des contextes d'habitations de la Guadeloupe devront s'effectuer selon la plus fine échelle spatiale existante, ce qui permettra d'être le plus précis possible. Elle rendra également possible la comparaison des deux études entre elles car seront analysées à une échelle identique. Cette échelle permettra ainsi le croisement de ces deux types de données par la suite et d'analyser les liens potentiels existant entre les incidences de dengue et les différents contextes d'habitation. L'impact de ces modifications sur les risques de transmission de la dengue est analysé. Ainsi, ces données devraient permettre aux autorités de santé publique d'avoir un outil d'aide à la décision et ainsi d'agir au plus près de la population concernée (Kolivras, 2006).

## 1.6 Le Système d'Information Géographique (SIG)

### 1.6.1 Définition et intérêts

Un système d'information géographique (SIG) comprend une plate forme constituée de matériels informatiques et de logiciels (Zaninetti, 2005). Il permet d'intégrer, de localiser, d'analyser et de représenter des données qui ont une dimension géographique. Les SIG sont de plus en plus utilisés dans la recherche en santé publique, pouvant servir à générer des hypothèses de recherche, identifier les régions et populations à risque, cibler les ressources et la surveillance des interventions sur le terrain. Ils constituent des outils cartographiques de base pouvant être utilisés pour étudier la distribution, les dynamiques et les corrélations entre les facteurs environnementaux et les maladies dont la dengue.

Les bases de données géographiques n'ont été que récemment utilisées afin de surveiller les facteurs affectant les maladies. En effet, ces technologies améliorent la capacité de travail des personnels, décideurs et chercheurs afin d'organiser et lier les séries de données de différentes sources (Seng, 2005). Des outils de télédétection permettent d'extraire d'images satellites et aéroportées des informations telles que les structures urbaines, utiles dans l'étude de maladies à transmission vectorielles (Trovo, 2009). Ainsi, les SIG sont particulièrement adaptés à notre étude et offrent la possibilité de mettre en relation des informations spatialisées de nature et de thèmes différents.

L'utilisation des SIG dans l'étude de la transmission de la dengue permet d'intégrer des données géo-référencées concernant les personnes, leurs caractéristiques de santé et socio-économiques et l'environnement dans lequel elles vivent. En outre, ils permettent aussi aux spécialistes de différentes disciplines de travailler ensemble afin d'explorer et d'intégrer différentes approches méthodologiques. Les outils de géo-référencement par satellite sont forts utiles car permettent aux observateurs d'analyser les relations spatiales entre les régions avec un niveau élevé d'infestation de moustiques vecteurs et la localisation des sites pour le développement des larves (pneus, cimetières) (Gubler 2005 et Castle 1999). Les SIG permettent ainsi de représenter et suivre les facteurs environnementaux et sanitaires.

## 1.6.2 Fonctionnalités et capacités

L'information géographique possède deux composantes : les données spatiales et les données attributaires. Les données spatiales représentent des objets géographiques (rivières, maisons, etc.) associés avec leur localisation dans le monde réel (données géo-référencées). Les objets géographiques sont représentés sur les cartes par des points, des lignes et des polygones. Les données attributaires décrivent des propriétés particulières des objets géographiques, telles que le numéro d'une parcelle, la largeur d'un pont, le type de végétation, etc. Une capacité puissante des SIG réside dans le lien établi entre les données spatiales et les données attributaires stockées dans une base de données géographiques.

D'après la Figure 19, la relation entre les données spatiales et attributaires permet l'affichage d'objets géographiques et leur description ainsi que l'interrogation de bases de données géographiques.

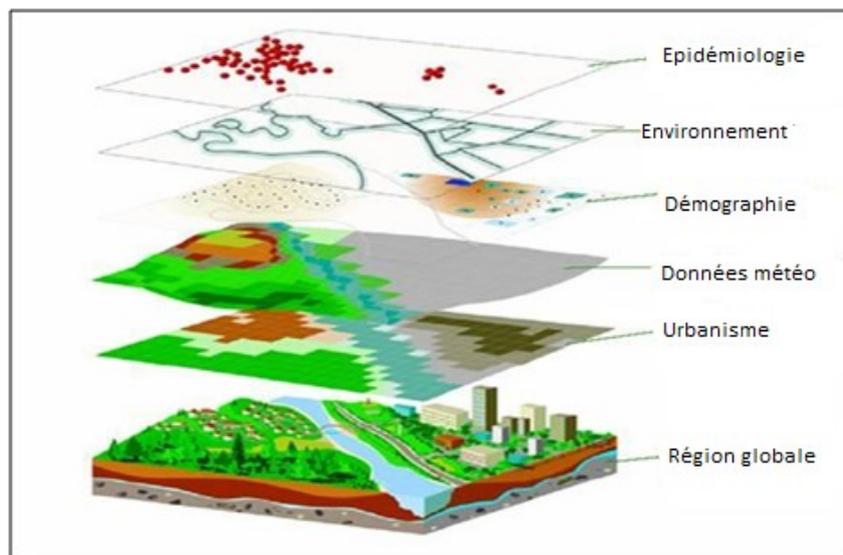


Figure 19- Superposition de couches <sup>39</sup>

Deux formats de données différents peuvent être utilisés pour stocker l'information géographique (Figure 20):

- le format « vecteur » (ou objet) permet de définir individuellement chaque objet de la réalité par une forme géométrique (entité) telle qu'un point, une ligne ou un polygone.
- le format « raster » (ou image) modélise les objets du monde réel en utilisant une matrice de cellules carrées (ou pixels). Chaque pixel est un fragment de l'objet, l'ensemble des pixels reproduit la forme et positionne l'objet.

<sup>39</sup> [http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/images/gis\\_layers.gif](http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/images/gis_layers.gif)

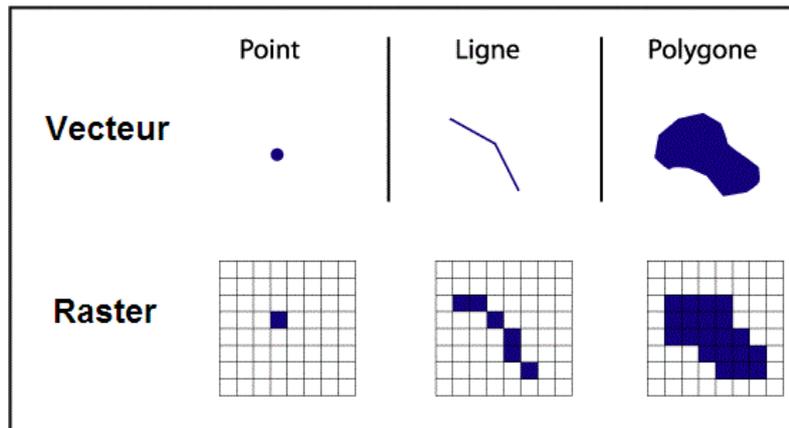


Figure 20- Représentation des formats vecteur et raster <sup>40</sup>

Un SIG organise les informations géographiques sous forme de couche « vecteur » et de couche « raster ». Chaque couche représente un ensemble de données similaires comme par exemple les rivières (ligne), les parcelles (polygone), les habitations (points). Ces couches sont superposées sur la base de la position géographique des objets qu'elles contiennent.

### 1.6.3 Le SIG et la santé publique

La santé publique prend en compte les dimensions d'organisation administrative, politique et économique. La santé publique aborde l'organisation de la santé pour une collectivité, une population à un niveau individuel et à un niveau collectif. L'OMS, en 1952, en donne la définition suivante :

*« La santé publique est la science et l'art de prévenir les maladies, de prolonger la vie et d'améliorer la santé et la vitalité mentale et physique des individus, par le moyen d'une action collective concertée visant à assainir le milieu, lutter contre les maladies, enseigner les règles d'hygiène personnelle, organiser des services médicaux et infirmiers en vue d'un diagnostic précoce et du traitement préventif des maladies, mettre en œuvre des mesures sociales propres à assurer à chaque membre de la collectivité un niveau de vie compatible avec le maintien de la santé »<sup>41</sup>.*

L'épidémiologie est une discipline où les chercheurs et les personnels de santé sont amenés à utiliser des données spatiales. En effet, tout problème de maladie requiert une réponse différente et une décision politique, par conséquent l'information doit être disponible et refléter une évaluation réaliste de la situation à différents niveaux : local, national et global. Depuis une dizaine d'années, beaucoup de techniques ont permis d'améliorer la compréhension des liens entre les maladies et les variables spatiales. Grâce à la cartographie des cas de maladies, l'utilisateur peut connaître la source d'origine des épidémies et peut ainsi générer des hypothèses pour de futures investigations.

<sup>40</sup> <http://www.cartographie.ird.fr/refugies/methodes-SIG.html#>

<sup>41</sup> <http://www.infirmiers.com/cours-sante-publique-notions-de-base>

La cartographie rend ainsi plus facile l'interprétation d'un phénomène donné et est utilisée à bon escient avec le développement des SIG. Les SIG constituent une plateforme idéale pour la convergence de l'information spécifique concernant une maladie donnée et l'analyse de ces informations en relation avec l'établissement de la population, les services sociaux et de santé ainsi que l'environnement naturel. Les SIG sont hautement appropriés pour l'analyse des données épidémiologiques, révélant des tendances et des inter-relations qui auraient été plus difficiles à découvrir sous le format d'un tableau. De plus, les SIG permettent aux hommes politiques de visualiser plus facilement les problèmes dans la relation avec les services de santé et sociaux et l'environnement naturel. Ainsi, depuis 1993, la cartographie en santé publique de WHO et le programme de SIG ont été conduits un partenariat dans la promotion et la réalisation de SIG afin de soutenir la prise de décision pour une large bande de maladies infectieuses et les programmes de santé publique<sup>42</sup>. De plus, les SIG incluent de plus en plus les méthodes d'analyse spatiale, permettant d'étudier les phénomènes de cluster ou de dispersion, les voies préférentielles, l'ampleur et la rapidité de la propagation, les types d'environnement à risque, etc.

L'utilisation du SIG offre des potentiels afin d'analyser la santé publique comme la dengue et le niveau d'influence des facteurs environnementaux (Albert, 2000). L'addition du GPS et du SIG utilisés dans l'épidémiologie de la dengue procurent la possibilité d'explorer les dimensions spatiales de la transmission de maladies difficilement analysable en absence de ces capacités (Vazquez-Prokopec, 2010). Les SIG permettent de définir l'unité géographique souhaitée selon l'étude conduite (Cockings, 2003) ainsi que de lier les différents types de données avec l'information contextuel agrégée à différentes échelles géographiques (ménages, voisinage, municipalité, ville, département, province, etc...). Une bonne connaissance de l'épidémiologie de la dengue ainsi que des outils géomatiques est indispensable afin de répondre à notre problématique. Compte tenu des différents types de données à récolter, il faut prêter une attention particulière à l'intégration de celles-ci dans l'objet géomatique, particulièrement à l'échelle spatiale. Les données spatiales et temporelles doivent être homogènes et représentées sous la même échelle pour que les résultats issus des analyses spatiales et statistiques soient corrects (Guis, 2007). Les SIG et l'analyse spatiale apporte un puissant outil encore sous-exploité dans le combat contre la dengue (Graham, 2004). L'approche dans le cadre de notre étude nécessite une collaboration étroite entre biologistes, épidémiologistes, géomaticiens et entomologistes.

Différents types de données spatiales à diverses résolutions spatiales existent, pouvant apporter des informations sur la couverture d'un territoire donné. Ces données ont été utilisées dans l'étude des maladies vectorielles ; la distribution spatiale des cas ou des vecteurs étant souvent cartographiée (Herbreteau 2005, 2007). Des relations spatiales montrant des valeurs d'incidence élevées de maladie telle que la dengue peuvent ainsi s'expliquer par plusieurs processus écologiques (Otsfeld, 2005). Les régions à risque élevé peuvent être identifiées spatialement, lesquelles peuvent être ciblées pour la prévention en santé publique. Toutefois, le coût des logiciels dédiés aux données spatiales et le manque de formation et de connaissance de ces logiciels par le personnel constituent des freins importants dans l'acquisition de ces outils (Zaninetti, 2005).

---

<sup>42</sup> <http://www.who.int/heli/tools/maps/en/index2.html>

## 2. Matériels et méthodes

L'étude des relations entre la dengue et les contextes d'habitations en Guadeloupe nécessite l'apport et l'utilisation de plusieurs types de données, provenant de sources différentes. Ainsi, dans le cadre de la définition de l'incidence de la dengue entre 2000 et 2008, les cas suspects et confirmés détectés durant cette période ont été récoltés auprès des organismes de santé. Ces données ont été ensuite complétées et validées afin de pouvoir calculer l'incidence spécifique des cas suspects et confirmés à différentes échelles géographiques. De même, les données relatives aux personnes (données socio-démographiques) et à la répartition des types d'environnement (naturel, agricole, urbain, etc.) ont été recueillies auprès des services concernés. Par la suite, plusieurs analyses (création de couches SIG, classification) ont été effectuées dans le but de définir les contextes d'habitations présents sur le territoire.

### 2.1 Surveillance épidémiologique

La Guadeloupe connaît une situation endémo-épidémique de la dengue<sup>43</sup>, avec une circulation persistante du virus et une transmission de la maladie dans la région. Cette situation s'accompagne également avec des recrudescences plus importantes de cas de dengue à certains moments de l'année. Ainsi, deux périodes de transmission par année ont été établies grâce aux données hebdomadaires basées sur le recensement actif hebdomadaire des cas suspects de dengue disponibles auprès d'un réseau de médecins sentinelles et sur le recensement parallèle des cas confirmés par les laboratoires de ville ou hospitaliers.

Ces deux périodes qui ont été déterminées correspondent à :

- a) Période inter-épidémique : période à faible risque épidémique s'étalant de la 6<sup>ème</sup> semaine (début février) à la 26<sup>ème</sup> semaine (fin juin) d'une même année soit 21 semaines ;
- b) Période épidémique : période à fort risque épidémique, qui débute à la 27<sup>ème</sup> semaine de l'année en cours (début juillet) et s'arrête à la 5<sup>ème</sup> semaine (fin janvier) de l'année suivante (31 semaines) (Desenclos, 2009).

#### 2.1.1 Analyse rétrospective et prospective des cas de dengue

Dans le cadre de la surveillance de la dengue par les organismes de santé en Guadeloupe, deux types de cas sont suivis : les cas suspects détectés par un réseau de médecins sentinelles et les cas confirmés déclarés par l'ensemble des laboratoires de biologie médicale du territoire. L'analyse des deux types de cas est réalisée dans le but de définir des incidences de cas suspects et confirmés dans le département à différentes échelles spatiales de 2000 à 2008.

##### 2.1.1.1 Protocole de collecte des cas suspects

Il existe deux réseaux distincts chargés de la surveillance des cas suspects :

- d'une part en Guadeloupe continentale et îles proches (Désirade, Marie-Galante, Les Saintes) ;
- les îles du Nord (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) d'autre part.

---

<sup>43</sup> <http://www.sante.gouv.fr/la-dengue-information-prevention-historique.html>

Les données issues des Iles du Nord ainsi que les îles proches n'ont pas été prises en compte dans l'étude du suivi des cas suspects. En effet, les mouvements de populations entre les régions sont nombreux et en continu avec des aller-retour réguliers entre leur lieu de résidence et la Guadeloupe continentale. Par conséquent, l'origine de la contamination des patients résidant dans ces régions est incertaine. Si l'origine d'une partie des cas de dengue est inconnue et potentiellement relative à des populations non autochtones, les résultats d'incidence peuvent être biaisés. D'autre part, les Iles du Nord ne sont plus rattachées à la Guadeloupe, elles sont devenues, depuis 2007, des collectivités territoriales<sup>44</sup>.

Concernant le recueil des cas suspects relatifs à la Guadeloupe continentale, les informations sont recueillies de manière active. Une infirmière de la Cellule de Veille Sanitaire (CVS) de la DSDS téléphone chaque semaine à chacun des médecins sentinelles afin de recueillir le nombre de cas cliniquement évocateurs relatifs aux syndromes ou pathologies surveillés. Ces données sont ensuite saisies par le personnel de la CVS de la DSDS dans une base de données développée avec le logiciel Epi-Info. La présence hebdomadaire des médecins sentinelles est également relevée dans la base de données : elle est notée 1 si celui-ci est présent, 0 si il ne répond pas. Quand le médecin n'est pas répertorié comme étant présent, plusieurs causes peuvent en être à l'origine tels que les congés, le remplacement, les problèmes de ligne téléphonique etc. Lorsque les docteurs étaient absents plus de 10 semaines sur l'ensemble de la période de transmission considérée, la surveillance n'était pas prise en compte pour la commune étudiée. Ce nombre de semaines correspond au seuil où la surveillance est considérée comme irrégulière selon la période de transmission. Au final dans notre base de données nous avons 7 506 cas suspects collectés après traitement entre 2000 et 2008.

Par ailleurs, les médecins sentinelles peuvent se succéder dans un même quartier, cabinet ou hôpital d'une commune. Les informations du suivi de présence des médecins sentinelles issus du même cabinet médical ont été par conséquent agrégées. Les données issues du réseau ont été ensuite extrapolées à l'échelle départementale par commune, en tenant compte de la part d'activité des médecins sentinelles de la commune par rapport à l'activité globale de tous les médecins généralistes de la commune (Figure 21). En utilisant cette proportion, nous avons pondéré le nombre de cas rapportés par les médecins sentinelles pour obtenir une estimation hebdomadaire du nombre total de patients ayant consulté dans la commune. L'information cumulée par cabinet et par commune a permis de suivre l'activité des médecins sentinelles entre 2000 et 2008. Enfin, l'incidence des cas suspects a été définie à plusieurs échelles géographiques sur le territoire guadeloupéen.

### 2.1.1.2 Collecte des cas confirmés

Depuis 1987, la surveillance des cas confirmés par les laboratoires a été mise en place dans le but de préciser l'importance réelle de la circulation des virus de la dengue. Par convention avec le service de la DDASS (nouvelle DSDS) depuis 1991, l'Institut Pasteur de Guadeloupe (IPG) a reçu tous les cas de suspicion de dengue et effectué des tests sérologiques de confirmation. Toutes les sérologies prescrites arrivaient donc à l'IPG. Mais le remboursement des tests, le développement des nouvelles techniques et la mise en place de la Couverture Maladie Universelle (CMU), tous les laboratoires de villes ne font plus effectuer toutes leurs sérologies par l'Institut Pasteur. La CVS a progressivement pris le relais à partir de 2003.

---

<sup>44</sup> <http://www.outre-mer.gouv.fr/?presentation-saint-barthelemy.html>

Toutes les demandes de confirmation biologique du diagnostic de dengue sont transmises par l'ensemble des laboratoires concernés. De même, tous les résultats des analyses biologiques (sérologie ou biologie moléculaire « RT-PCR »), qu'ils soient positifs ou négatifs, sont ainsi transmis à la CVS, qui les saisit dans la base de données.

Dans le cadre de la collecte des informations relatives aux cas confirmés entre 2000 et 2008, seuls les résultats positifs confirmant la maladie ont été conservés dans notre étude. Pour couvrir la période 2000-2008, les fichiers de l'IPG et de la DSDS ont été fusionnés. Un total de 8617 fiches a été obtenu. Elles ont été anonymisées en affectant un code à chaque patient associant les trois premières lettres du prénom et les trois premières lettres du nom.

Pour éliminer les doublons, les codes, la date de naissance, les dates de prélèvement et la commune d'habitation du cas ont été comparés. Une durée de trois mois entre deux analyses successives pour un même patient a été prise afin de différencier une primo infection d'une infection secondaire. En effet, la détection des anticorps (IgM) spécifiques de la protéine antigénique NS1 de la dengue permet de poser un diagnostic tardif de la dengue car les IgM sont identifiées en moyenne à partir du cinquième jour après l'apparition des signes cliniques et persistent en moyenne 2 à 3 mois. Les IgG apparaissent un peu plus tard<sup>45</sup>. Les informations relatives à un même patient, présentes à plusieurs reprises à un intervalle de moins de trois mois ont été considérées comme une même infection. Dans le cas contraire, les informations doublons sont supprimées.

Le code INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques) utilisé par la DSDS a permis d'identifier les différentes communes de la Guadeloupe. Lorsque plusieurs fiches sont détectées pour un même épisode, les informations sont cumulées afin de réduire le nombre de données manquantes ou erronées. Après ce traitement, nous avons obtenu 7 800 fiches. Parmi ces fiches, 664 d'entre elles correspondant à des habitants de la Guadeloupe continentale, présentent des données manquantes au niveau de l'adresse et/ou la date de naissance. En effet, en période épidémique, le nombre très élevé de cas observés conduit les organismes de santé à se concentrer en priorité sur le terrain et donc les foyers épidémiques; en conséquence, les cas isolés sont moins enquêtés et l'effort de confirmation de la maladie par la sérologie est arrêté. Pour compléter les informations manquantes, les laboratoires préleveurs, les centres hospitaliers et les médecins prescripteurs ont été contactés par téléphone. Après élimination des cas importés des pays étrangers, nous avons obtenu 6 153 fiches.

## 2.2 Définition et traitement des indicateurs

Les données relatives aux nombres de cas suspects et confirmés servent de données de base dans le calcul des indicateurs, en l'occurrence de l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue. Les couches SIG sous forme vectorielle ont été également recueillies, incluant les couches administratives à l'échelle des communes, des sections et des Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (IRIS). Les IRIS constituent une partition du territoire de ces communes en "quartiers" dont la population est de l'ordre de 2 000 habitants. Il est construit à partir de critères géographiques et statistiques et, autant que possible, chaque IRIS doit être homogène du point de vue de l'habitat<sup>46</sup>. En Guadeloupe, ces couches correspondent à une

---

<sup>45</sup> Haute Autorité de Santé (HAS) Détection de l'antigène NS1 de la dengue  
[http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-06/doc\\_rp\\_has\\_ns1.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-06/doc_rp_has_ns1.pdf)

<sup>46</sup> <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/iris.htm>

agrégation de plusieurs sections appartenant à une même commune. Elles nous ont permis de définir les incidences des cas suspects et confirmés à différentes échelles spatiales et géographiques, en particulier à l'échelle des communes et des sections.

### 2.2.1 Cas suspects

S'agissant de l'analyse des cas suspects, les données retenues concernent la présence hebdomadaire des médecins sentinelles ainsi que le nombre de cas hebdomadaire observé par cabinet médical et par commune. La Figure 21 illustre la répartition du nombre de médecins généralistes par commune, utilisé dans l'estimation de l'activité des médecins sentinelles.

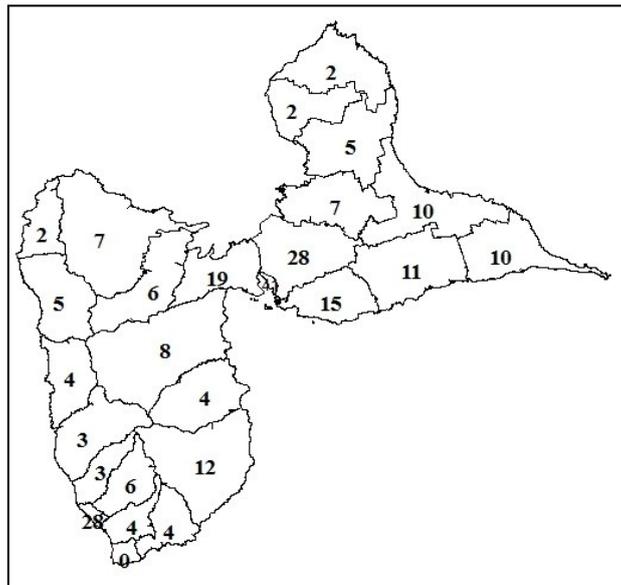


Figure 21- Répartition du nombre de médecins généralistes/1 000 Habitants par commune en 2003 <sup>47</sup>

Afin de définir l'incidence des cas suspects à l'échelle des sections, possédant une surface moins importante que les communes, les cabinets impliqués dans le réseau sentinelle ont été géo- référencés. Une zone tampon (buffer) correspondant au rayon de la surface de couverture de chaque médecin a été calculée et tracée autour de chaque cabinet.

Une estimation de la Couverture de chaque Médecin Sentinelle (CMS) en kilomètre carré (km<sup>2</sup>) a été effectuée:

$$\text{CMS} = (\text{Superficie de la commune (km}^2\text{)} / \text{Nombre de médecins généralistes par commune})$$

Après avoir obtenu la surface par médecin, le rayon R de la zone tampon autour du cabinet proportionnel au nombre de médecins sentinelles par commune peut être déduit :

$$\text{CMS} = \pi \times (\text{R})^2$$

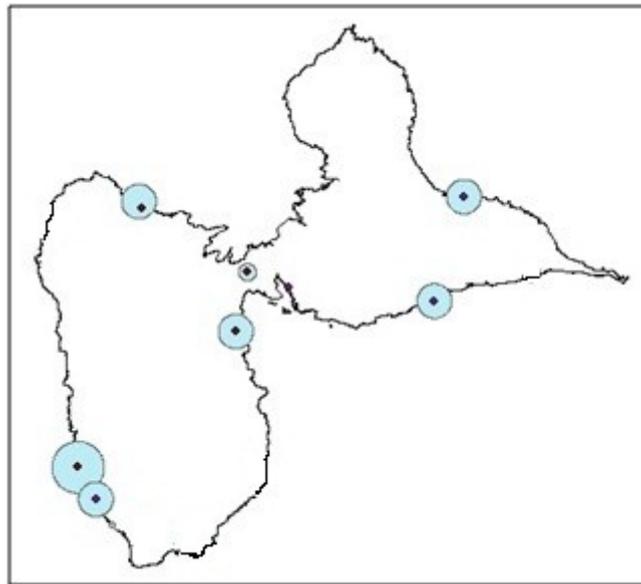
$$\text{Par conséquent le Rayon est : } \text{R} = \sqrt{\text{CMS}/\pi}$$

<sup>47</sup> Atlas Sanitaire 2005

L'objectif de cette analyse par zone tampon est de représenter l'incidence des cas suspects par section en fonction de la surface totale couverte par chaque médecin sentinelle.

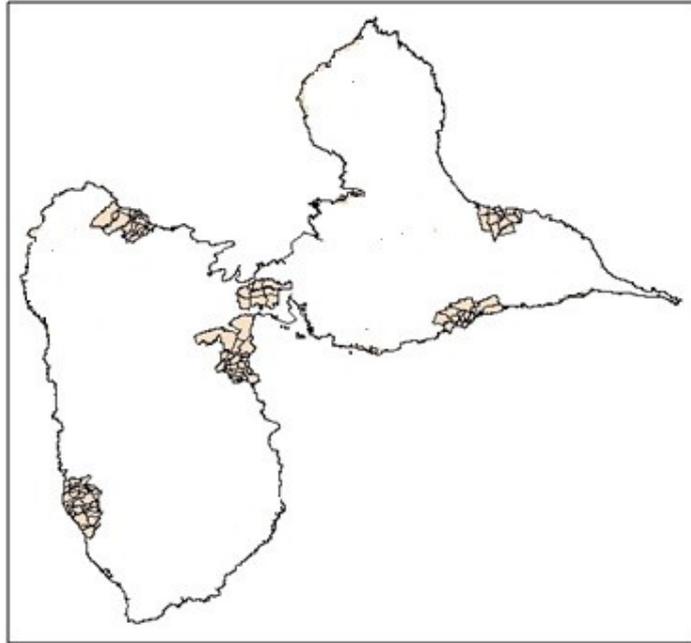
Un réajustement du diamètre a été effectué en fonction de la proportion de surface maritime couverte par la zone tampon. L'utilisation de l'analyse par zone tampon grâce aux SIG permet de mettre en évidence des associations spatiales, ici en l'occurrence l'influence de la zone de couverture des médecins sentinelles sur le nombre de cas suspects de dengue déclaré.

Les sections entièrement comprises dans la zone tampon ont été considérées comme appartenant à la zone de couverture du cabinet. Les sections partiellement comprises ont été considérées proportionnellement au pourcentage de superposition des deux objets géographiques (Figure 22).



**Figure 22- Exemple d'illustration de zones tampon calculés autour de chaque cabinet médical impliqué dans le réseau sentinelle**

Des méthodes de sélection interactives ont été utilisées afin de sélectionner les sections contenues dans la zone tampon ainsi que celles qui sont intersectées par le contour de cette zone tampon. La couche des sections sélectionnées est par la suite créée et servira de support à la couche de l'incidence des cas suspects (Figure 23).



**Figure 23- Illustration des zones de couverture (sections) des médecins sentinelles par commune**

Une incidence correspond au rapport d'un nombre de cas sur une population donnée. Pour cela, il faut estimer la population de chaque commune et section pour chaque période de transmission de la dengue relative à notre étude. Ces estimations serviront à calculer l'incidence aux échelles de la commune et de la section. Pour cela, les données de recensements sont utilisées. Le recensement de la population n'étant pas effectué chaque année, nous avons pris en compte les recensements de 1999 et 2004. Afin d'estimer la population entre ces deux années, l'hypothèse d'une évolution annuelle stable entre deux recensements de la population a été faite. L'estimation du nombre d'habitants par commune selon les recensements et par année est effectuée.

Estimation du nombre d'habitants par commune pour 2000 =

Population (pop.) de 1 999 + (Pop. 2004 par commune – pop. 1 999 par commune)

---

5

Le chiffre 5 correspond au nombre d'années entre 1999 et 2004. On procède de la même façon pour le calcul du nombre d'habitants pour les autres années d'étude. Ainsi, selon l'échelle géographique de la commune et les périodes épidémiques et non épidémiques entre 2000 et 2008 (au total 16 périodes), les taux d'incidence des cas suspects pour 1 000 habitants ont été calculés suivant cette formule :

Incidence = [Nombre de cas déclarés × (nombre de médecin généralistes/ nombre de médecins sentinelles)] / Nombre d'habitants × 1 000

Concernant le calcul d'incidence à l'échelle de la section, elle correspond à l'incidence de la commune contenant la section considérée, simplement reportée à l'échelle plus fine de la section sachant qu'il existe plusieurs sections dans une commune. La zone de couverture des médecins sentinelles définie permet de prendre en compte un nombre de sections précis dans chacune des communes où il existe une surveillance des cas suspects.

## 2.2.2 Cas confirmés

Les cas confirmés ont également été étudiés dans le but de définir leur incidence sur la même période et aux mêmes échelles géographiques que celles utilisées pour l'analyse des cas suspects. Le fichier renfermant les données traitées relative aux cas confirmés ont été importés dans un SIG. Le géocodage des adresses de l'ensemble des cas confirmés a été fait sur le SIG. Cette méthode constitue un processus automatique d'analyse d'adresse et de standardisation, en combinant des adresses avec des couches SIG administratives préexistantes (communes, sections). Cela signifie que les informations des patients ont été reportées spatialement à l'échelle de la commune ou de la section, correspondant aux couches administratives qui servent pour la représentation de l'incidence par la suite. La géolocalisation d'une adresse étant faite par appariement entre les noms d'adresse des patients contenus dans la base de données et les communes/sections des couches SIG, des erreurs d'appariement apparues ont été corrigés.

Ensuite, nous devons définir la population de toutes les sections du département afin de pouvoir calculer l'incidence des cas confirmés à l'échelle de la section. N'ayant pas d'information relative à la population par section, nous avons tenu compte du nombre de bâtis répertoriés entre 2000 et 2008 à partir des photos aériennes de 2000 et 2004 pour chaque section ainsi que la population par commune précédemment définie. Il a été appliqué une proportion en tenant compte de ces deux facteurs afin de déterminer la population de l'ensemble des sections.

Ayant le nombre de bâtis par commune et par section pour 2000 et 2004, nous avons effectué une proportionnalité de la manière que ce qui a été fait pour le calcul de la population par commune. Cela permettra d'avoir, tout comme sa population, une évolution annuelle des bâtis à l'échelle des communes.

Estimation nombre bâtis par année =

Nombre bâtis 2000 + (nombre bâtis 2004- nombre bâtis 2000)

---

4

Ensuite, la population par section a donc été définie comme suit:

Pop. / section = Pop. commune × (nombre de bâtis par section / nombre de bâtis par commune)

Enfin, l'incidence des cas confirmés (Inc CC) pour 1 000 habitants proprement dite est alors définie selon la relation suivante et l'échelle considérée (communes et sections):

Inc CC = (Nombre de cas confirmés / Nombre d'habitants) × 1 000 (selon l'échelle de la commune ou de la section).

## 2.3 Analyses environnementales et analyse de l'habitat

La dengue constitue une maladie étroitement liée à l'environnement de part son mode de transmission. Plusieurs contextes environnementaux recouvrent le territoire de la Guadeloupe, dépendant de plusieurs facteurs. La définition de la structure des habitations et leur répartition ainsi que celle de l'environnement proche est essentielle dans ce contexte.

Suivant la densité et la répartition des bâtis présents sur le territoire Guadeloupéen, plusieurs espaces sont définis. Cette démarche est fondamentale en épidémiologie ainsi qu'en urbanisme car cela permet d'obtenir des classes d'occupation du sol plus simples à conceptualiser, puis d'analyser la relation entre les incidences de dengue et l'évolution de l'environnement dans le département entre 2000 et 2008.

### 2.3.1 Caractérisation des types d'habitats

La classification des différents contextes d'occupation du territoire comprend deux étapes principales:

- a) Type 1 : classification du territoire en trois types d'espaces : espaces urbanisés, espaces agricoles et espaces naturels.
- b) Type 2 : classification du territoire en différents contextes ou classes d'habitation.

Les données environnementales sont introduites dans une base géo-référencée par le biais des SIG. Avec les SIG, il est techniquement possible d'intégrer d'importantes quantités de données ; cela permet d'effectuer diverses analyses spatiales relatives au développement ou pas de certains contextes d'habitation (Jianquan, 2002). Cette classification du territoire a été opérée sur trois années : 1996, 2000 et 2004. La description de l'environnement s'appuie sur les prises de vue aériennes du département, celles-ci ayant lieu tous les quatre ans. Elle permettra d'identifier les changements de contexte d'habitation (classification de type 2).

### 2.3.2 Acquisition des données

La première étape de la classification (type 1) doit aboutir à trois couches SIG correspondant aux trois types d'espaces : espaces urbanisés, espaces agricoles et espaces naturels. Ces trois couches sont définies pour trois années : 1996, 2000 et 2004. Nous devons obtenir au final un total de neuf couches sur l'ensemble de la période d'étude. Cette classification est fondée sur une analyse des distances entre les bâtis et ainsi que celle entre les parcelles agricoles et naturelles.

Le type 2 de la classification nécessite l'utilisation de deux types de données qui ont été collectées et/ou calculées : les données sociodémographiques (nombre d'habitants par foyer, etc.) et physiques (densité bâtie, etc.). En effet, l'évolution des indicateurs démographiques est étroitement liée à celles des variables physiques. Afin de récolter les informations relatives aux données sociodémographiques, des recensements sont effectués dans le département à intervalles de temps réguliers. Dans notre étude, les recensements de 1990, 1999 et 2006 ont été considérés. Les informations sur la population selon les échelles administratives sont également basées sur les recensements. Toutefois, lors du recensement de 2006, le mode de recueil a légèrement changé par rapport à 1999. Les variables qui n'ont pas été suivies en 2006 ou ne l'étaient pas avant 2006 ont été écartées pour ne conserver que des indicateurs homogènes calculés en 1990, 1999 et 2006. Les indicateurs sociodémographiques ont été récoltés par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE).

Tous ces indicateurs ont été ainsi reportés spatialement à l'échelle des IRIS ; le territoire est découpé ainsi en un regroupement de sections par IRIS. Il y a été dénombré 129 IRIS de superficie différente en Guadeloupe continentale (Figure 24). Néanmoins, l'IRIS contenant la zone de Jarry n'a pas été prise en compte dans l'analyse par maille puisqu'elle constitue une

zone industrielle importante (Benhaddouche, 2007) avec près de 300 hectares<sup>48</sup>. Par conséquent, la part de logements et de terres agricoles est négligeable dans cette région.

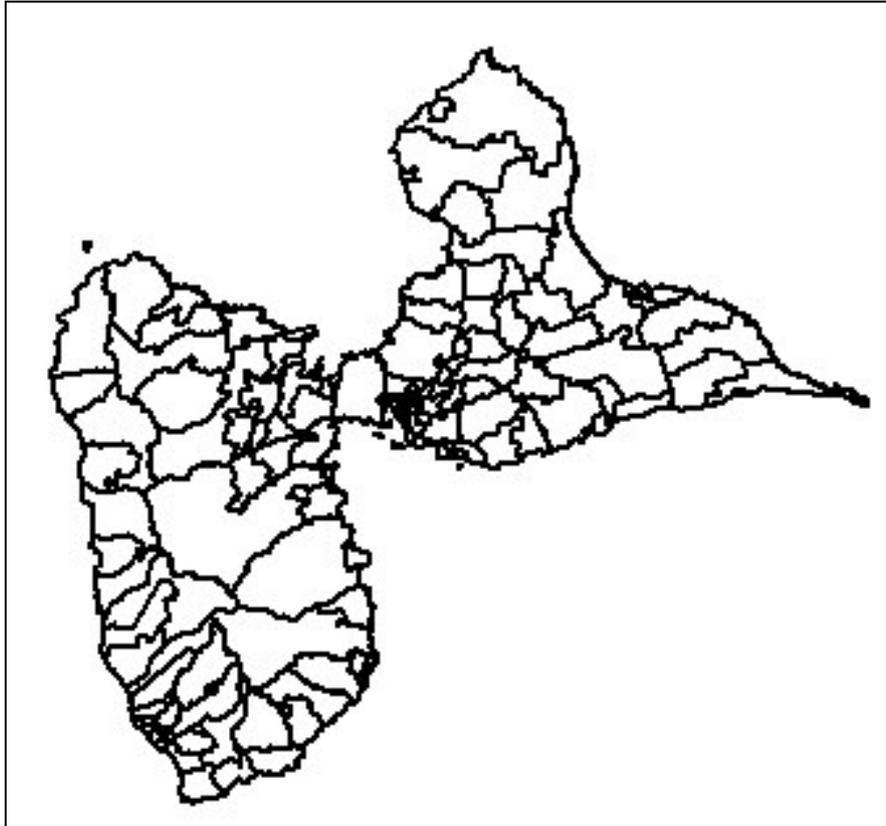


Figure 24 – Ensemble des IRIS de la Guadeloupe continentale

Plusieurs types de données environnementales ont été ainsi récoltés et utilisés dans l'élaboration et la définition des contextes d'habitation et environnementaux (classifications de types 1 et 2)<sup>49</sup> :

- un ensemble de photographies sous format papier en 1996 ;
- deux ensembles de photographies aériennes numérisées de la Guadeloupe : 2000 et 2004 ;
- une base de données topographiques (contour communes, routes, etc.) ;
- trois couches de bâtis numérisés de 1996, 2000 et 2004 ;
- un parcellaire agricole (2004-08) ;
- un contour IRIS (1999) ;
- des données sur le milieu naturel (Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), Direction du Parc National).

### 2.3.3 Traitement préliminaire

L'analyse des données environnementales et de l'habitat permettent de déterminer les espaces agricoles, naturels et urbains d'une part et les variables physiques et socio- démographique d'autre part.

---

<sup>48</sup> <http://www.jarry.org/>

<sup>49</sup> avec la collaboration de la Direction Départementale de l'Équipement (DDE)

Ces deux types de variables permettent ensuite d'effectuer la classification de type 2 avec l'obtention de contextes d'habitations. Deux approches géographiques sont utilisées afin d'obtenir les valeurs de ces variables: l'approche « raster » qui s'appuie sur des entités aux surfaces identiques et l'approche « vecteur » tenant compte des surfaces déterminées par les limites administratives existantes (IRIS, communes ou sections).

### 2.3.3.1 Détermination des espaces agricoles, naturels et urbains

Dans un premier temps sont déterminés les espaces urbanisés, naturels et urbains (classification de type 1). Une analyse visuelle complète des photos aériennes numériques a été faite dans le but de vérifier l'emplacement des parcelles agricoles (Figure 25). L'aire agricole est obtenue grâce à une agrégation des différentes parcelles agricoles numérisées avec une déletion des trous (Figure 26 a) et b)).



Figure 25 - Analyse et vérification du parcellaire agricole

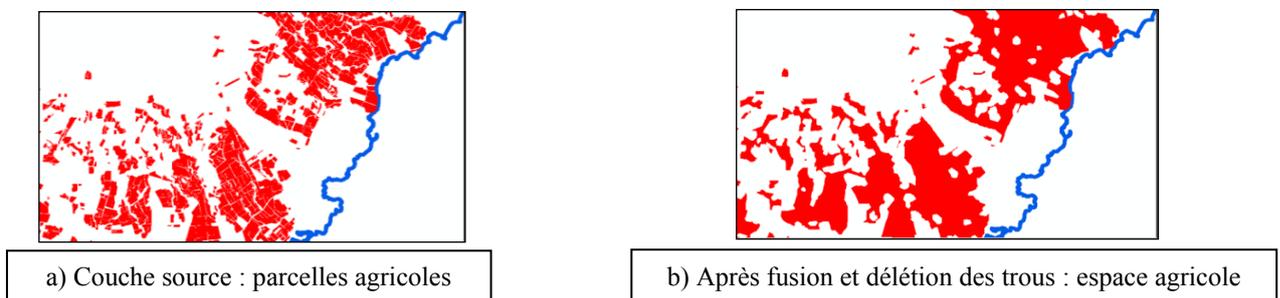
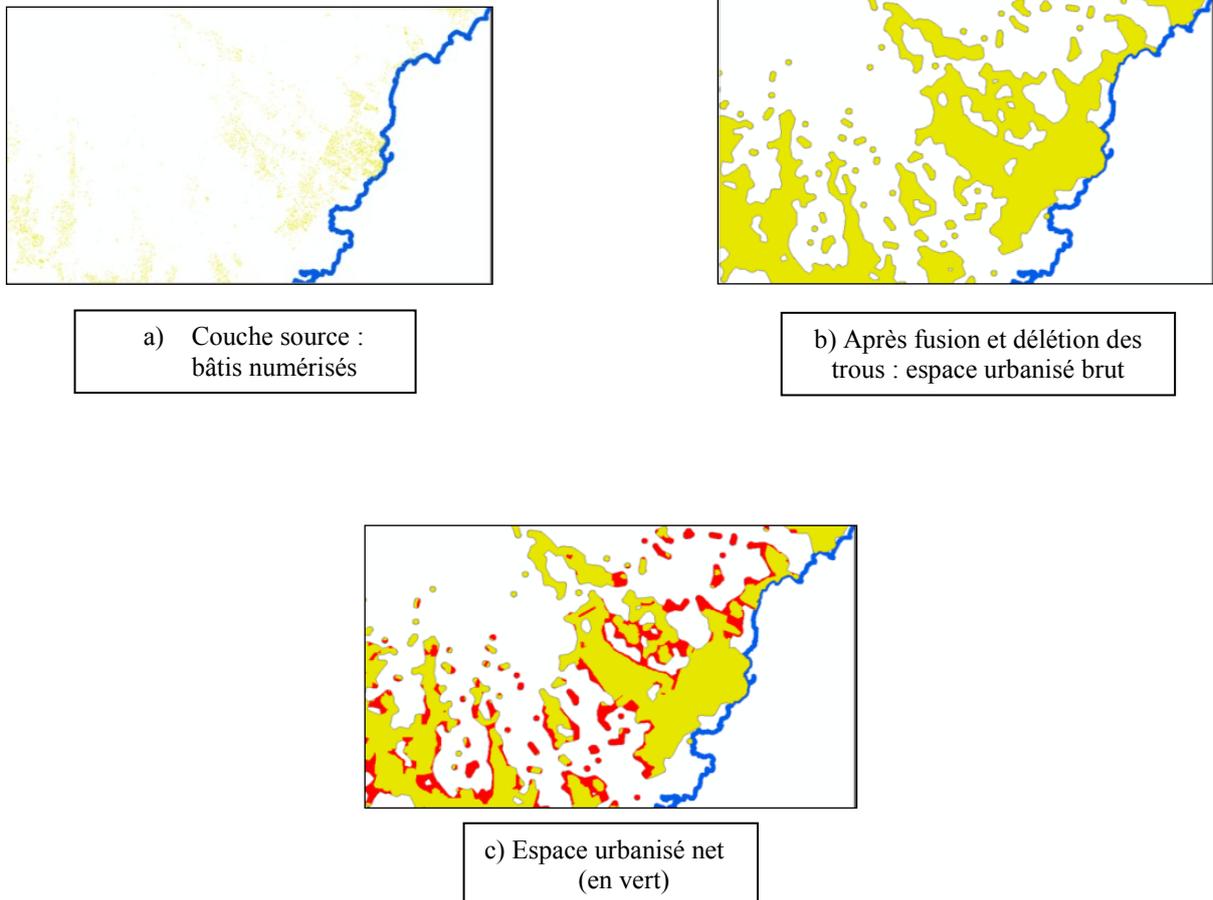


Figure 26- Détermination de l'espace agricole (a et b)

L'analyse des couches des bâtis numérisés permet une standardisation de l'analyse. Une zone tampon a été générée par le SIG autour de chaque objet du bâti numérisé. La couche a été ensuite fusionnée en prenant en compte les surfaces couvertes par l'ensemble des zones tampon. L'espace urbanisé ainsi obtenu est appelé « espace urbanisé brut ». Néanmoins, du fait de la surface des zones tampon, cet espace urbanisé déborde par endroits sur l'espace

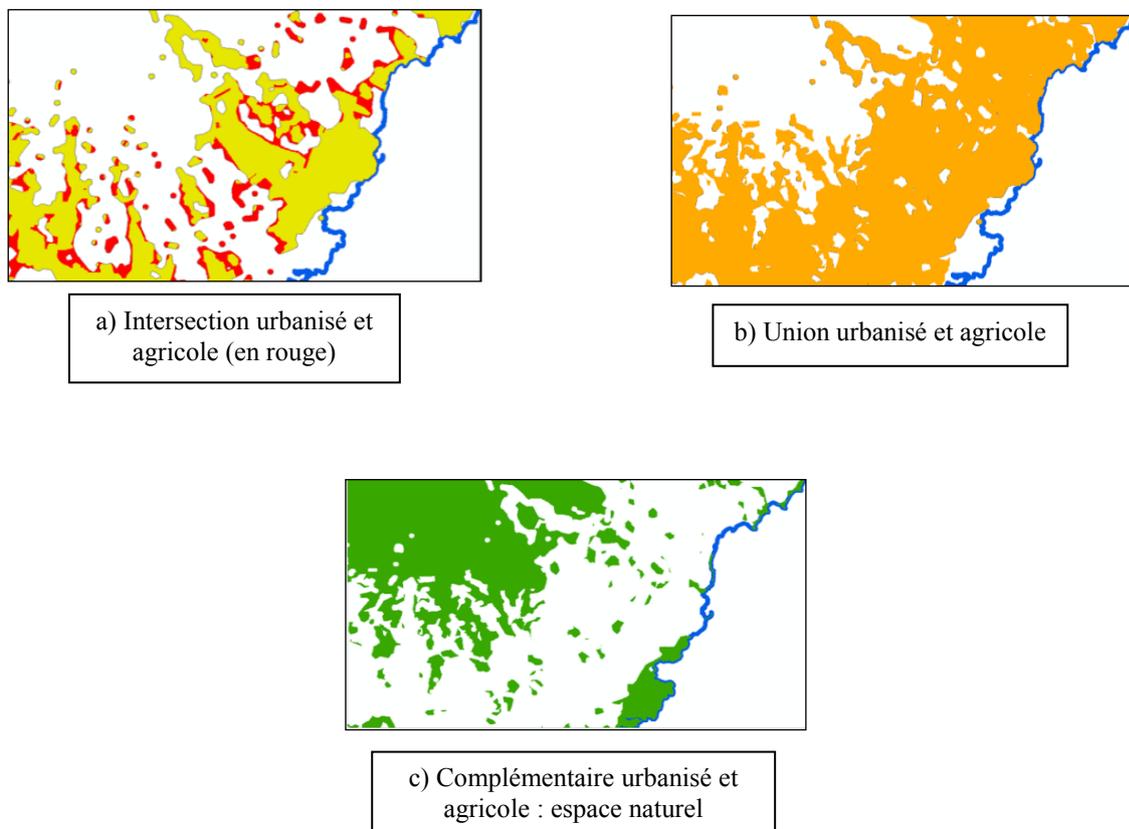
agricole ; un « espace urbanisé net » a donc été créé en soustrayant les zones d'intersection agricole/urbanisé à partir de l'espace urbanisé brut.

L'espace urbanisé est ainsi défini par une agrégation des différents bâtis (après déletion des trous, Figure 27 a), b) et c)).



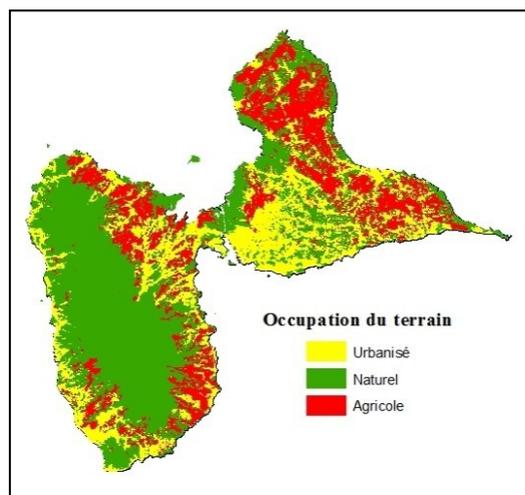
**Figure 27- Détermination de l'espace urbanisé net (a, b et c)**

L'urbanisation à l'intérieur des régions agricoles correspond à l'intersection entre les régions urbanisées et agricoles (Figure 28 a)). L'espace naturel est l'espace restant après l'union (Figure 28 b) des espaces agricoles et urbanisées (Figure 28 c).



**Figure 28 - Détermination de l'espace naturel (a, b et c)**

On aboutit au final à trois types d'espaces distincts (naturels, agricoles et urbains) couvrant l'ensemble du territoire de la Guadeloupe. Une carte pour chaque année (1996, 2000 et 2004) est ainsi produite et servira dans la définition des contextes d'habitation. La Figure 29 résume les types d'espaces occupant le territoire de la Guadeloupe.



**Figure 29- Répartition des trois types d'espaces en 1996 en Guadeloupe**

## 2.3.3.2 Détermination des variables physiques et socio-démographiques

### 2.3.3.2.1 Approche « raster »

L'obtention de la répartition des espaces agricoles, naturels et urbains pour les années 1996, 2000 et 2004 ne signifie pas pour autant que les contextes d'habitations sont définis pour autant. En effet, il n'y a pas de correspondance directe entre les couches d'occupation du terrain et les contextes d'habitation à définir.

Le problème principal est de définir l'échelle et la manière de traiter les données. Nous avons choisi de résoudre le problème en définissant des unités régulières grâce à une analyse par maille. En effet, la résolution spatiale est liée à la taille de grille définie (Jianquan, 2002). Une étude sur la typologie du rural à l'échelle européenne a été menée en 2012 en utilisant ce type de classification raster avec une résolution de 1 km<sup>2</sup> de surface en tenant compte de variables différentes (densité économique) afin de mettre en évidence des contextes liés au terrain (Van Eupen, 2012). La question de la prise en compte ou non des fichiers cadastraux s'est posée au moment de répertorier les habitats. L'idée a été abandonnée au profit des données fournies par la DDE et l'ONF et l'ARS car on souhaite une méthode reproductible dans d'autres contextes. Les fichiers du cadastre sont agrégés à une échelle trop fine pour une analyse directe par la suite. Ensuite, plusieurs valeurs de variables sont calculées et transférées de la couche d'origine sur chaque maille<sup>50</sup>. Ceci permet l'obtention des variables physiques, démographiques et sociodémographiques à la même échelle spatiale, nécessaires pour déterminer des contextes d'habitation (classification de type 2).

La taille de la maille choisie correspond à un carré d'une dimension de 250×250 mètres. Cette taille permet d'avoir une résolution assez fine, correspondant à une surface recouvrant plusieurs bâtiments selon le lieu. L'avantage de la définition de ces mailles est de permettre de calculer automatiquement les variables physiques et socio-démographiques à cette échelle. Cela permet de convertir les données dans la Figure 30 une représentation raster où chaque cellule contient un vecteur de variables descriptives.

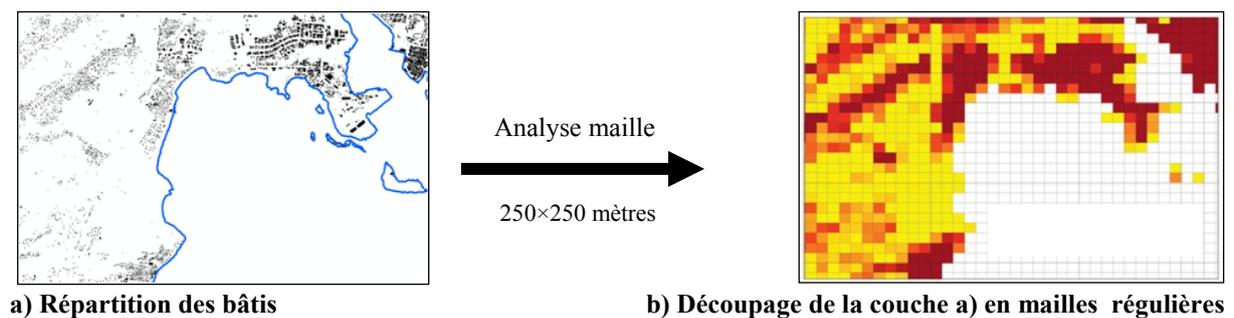
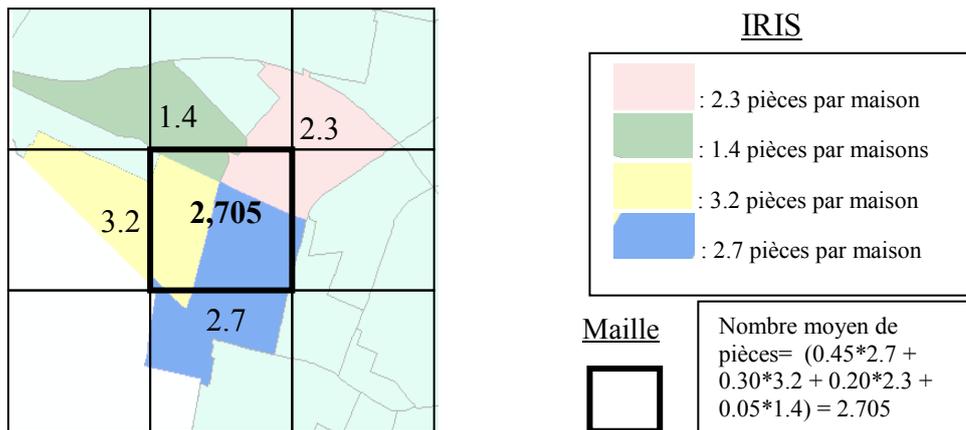


Figure 30 – Analyse cellule sur la couche bâti en Guadeloupe (a et b)

<sup>50</sup> <http://support.esri.fr/fr/outils/scripts/arcgis/arcmap/analyse/analyseparmailles/analyseparmailles.html>

Chaque maille croise les couches d'informations suivantes : urbanisée, naturelle, agricole, IRIS et bâtis. Les données socio-démographiques sont définies à l'origine à l'échelle de l'IRIS. La plupart des mailles sont contenues entièrement à l'intérieur d'un IRIS ou un type unique d'occupation de terrain. Les valeurs des données socio-démographiques de ces mailles sont identiques à celle des IRIS. S'agissant de celles qui croisent plusieurs IRIS, les valeurs résultantes sont calculées suivant une moyenne pondérée, dépendant de la proportion de chaque IRIS intersecté par la cellule. La Figure 31 illustre le calcul du nombre moyen de pièces pour une maille croisant plusieurs IRIS.



**Figure 31 – Nombre moyen de pièces par maison dans l'IRIS et la cellule**

Les indicateurs fournis par l'INSEE à l'échelle de l'IRIS ont été utilisés afin de définir 13 variables utiles permettant de discriminer, par la suite, les contextes d'habitation. Les valeurs de ces variables sont déterminées de la manière décrite par la Figure 31 pour chaque maille, variables qui se composent comme suit :

- Type de construction : pourcentage de maison de fortune, maison traditionnelle, en dur et en bois;
- Confort de l'habitat : pourcentage de maisons sans WC ni douche, avec climatisation;
- Nombre moyen de pièces par habitat ;
- Type de propriété : pourcentage de résidence principale, résidence secondaire ou occasionnelle, logement vacant, propriétaire occupant;
- Pourcentage du logement avec zéro voiture et deux voitures et plus.

Concernant les variables physiques, elles sont déterminées à partir des couches relatives à l'agriculture, la nature et à l'urbain et du bâti numérisé. Pour les mailles croisant plusieurs types d'occupation de terrain, nous avons gardé le pourcentage de chaque type d'espace.

Ces couches sont calculées également à l'échelle de la maille et sont au nombre de 6 :

- densité de bâti dans la cellule considérée ;
- densité de bâti dans les huit cellules autour de la cellule considérée ;
- dispersion des bâtis : la distance moyenne entre les bâtis dans la cellule;
- proportion de surface agricole par cellule ;
- proportion de surface urbaine par cellule ;
- proportion de surface naturelle.

Sachant que le but est de mesurer l'influence des contextes d'habitation sur la transmission de la dengue, nous gardons uniquement les mailles ayant une densité de bâti différente de zéro. Par conséquent, une large partie de la Basse-Terre n'est pas prise en compte car contient une importante région naturelle protégée, le Parc National de Guadeloupe, sans habitations.

A la fin du prétraitement des données, nous obtenons les dix neuf variables physiques et socio-démographiques définies à l'échelle de la maille. Ces variables serviront par la suite à la définition des contextes d'habitation du territoire Guadeloupéen.

#### 2.3.3.2.2 Approche « vecteur »

Par le biais de l'analyse par maille, l'approche « raster » a permis de déterminer de manière automatique les valeurs des variables physiques et socio- démographiques à l'échelle de la maille avec un découpage régulier du territoire. Néanmoins, les variables physiques et sociodémographiques peuvent également être calculées à différentes résolutions spatiales (Chen, 2002), en particulier par une autre méthode dite « vecteur ».

La définition des contextes est faite en tenant compte de la réalité du terrain, en particulier des découpages administratifs du territoire (communes, IRIS, sections, etc.) et des zones de recensement à l'échelle de l'IRIS. Les variables sociodémographiques et physiques seront ainsi définies cette fois-ci à l'échelle administrative considérée.

Cette deuxième approche est basée sur l'étude des couches IRIS et sections. L'intérêt de cette méthode est de calculer et d'obtenir les valeurs des variables physiques et sociodémographiques à la plus petite échelle administrative existante, en l'occurrence les sections pour notre étude. Cette analyse « vecteur » permet ainsi de rester fidèle aux données de recensement sans faire d'estimation liée au maillage. Les variables physiques et socio-démographiques sont calculées pour chaque section du territoire. On s'intéresse d'abord aux variables physiques. Les six mêmes variables définies pour la méthode « raster » sont calculées à l'échelle de la section dans la méthode « vecteur ».

Pour le calcul de la densité de bâti, les couches des bâtis isolés pour les années 1996, 2000 et 2004 ont été projetées sur la couche issue du croisement entre la couche des IRIS et celle des sections. La surface de chaque section ou partie de section sous forme de polygones issus du découpage a été calculée. Ensuite, la somme du nombre de bâtis par polygones a été calculée. La densité de bâti d'une section est égale à :

Nombre de bâtiments répertoriés dans la section

Surface de la section considérée

Les couches relatives aux milieux agricoles, naturels et urbains définies auparavant ont été fusionnées puis la proportion de ces trois types d'espaces dans les différents polygones a été calculée. Les espaces agricoles, naturels et agricoles sont ainsi estimés. Enfin, la densité de bâti dans les huit cellules autour de la cellule considérée (Figure 31) et la dispersion des bâtis (distance moyenne entre les bâtis dans la cellule) sont également définies. Quant aux valeurs des treize variables sociodémographiques déterminées à l'origine à l'échelle des IRIS, elles ont pu être jointes directement à l'échelle des sections grâce à une jointure spatiale sur le SIG. Sachant que l'IRIS correspond à un regroupement de plusieurs sections d'une même commune, les sections appartenant au même IRIS possèdent des valeurs de variables identiques.

## 2.4 Analyse exploratoire multidimensionnelle des données physiques et sociodémographiques

Cette partie présente les méthodes utilisées afin de définir et localiser les contextes d'habitation (classification de type 2). Pour cela, deux classifications du territoire Guadeloupéen à l'échelle de la maille et de la section seront étudiées. Nous testerons tout d'abord la classification non supervisée puis dans un deuxième temps une classification supervisée.

### 2.4.1 Classification non supervisée

L'ensemble des mailles comprenant les 19 variables physiques et socio- démographiques calculées pour 1996, 2000 et 2004 est classifié tout d'abord de manière non supervisée. Les variables actives retenues correspondent à des informations utiles qui décrivent l'habitat et son environnement (Torres-Moreno, 2009). Cette classification a pour but d'identifier, caractériser et de donner une première localisation des différents contextes d'habitation sans connaissance a priori numérique ou sémantique de ceux-ci.

La classification non supervisée est divisée en quatre sous-étapes et est effectuée grâce au logiciel de statistique R<sup>51</sup>:

- (i) une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin de réduire la dimension des données;
- (ii) une classification hiérarchique pour fixer le nombre de classes et leur description numérique;
- (iii) une analyse Bayésienne discriminante quadratique afin de classer les mailles;
- (iv) une identification sémantique des classes prenant en compte leur répartition spatiale et leurs caractéristiques sociales et démographiques et la validation par des experts en urbanisme et personnes de terrain.

Ces étapes correspondent à un ensemble des techniques et de méthodes du domaine des statistiques, des mathématiques et de l'informatique permettant l'extraction, à partir d'un important volume de données brutes, de connaissances originales auparavant inconnues. Il s'agit de "fouilles" visant à découvrir « l'information cachée » que les données renferment et qui ne sont révélées que lors de la recherche d'associations, de tendances, de relations ou de régularités<sup>52</sup>.

La classification non supervisée (Aldenderfer, 1984), présente l'avantage de ne nécessiter aucune connaissance a priori du terrain ; les mailles ayant des valeurs proches sont regroupées pour former les classes sur une base uniquement statistique. L'inconvénient principal de cette méthode est la nécessité pour l'utilisateur de légender et de caractériser les classes obtenues une fois la classification effectuée ; ce travail de caractérisation doit être cohérent avec des groupes réellement existants et assez facilement identifiables sur le terrain. Néanmoins, elle peut s'avérer rapide et efficace si les groupes recherchés sont mis en évidence de manière satisfaisante (Guis, 2007).

---

<sup>51</sup> <http://www.r-project.org/>

<sup>52</sup> <http://www.ultra-fluide.com/ressources/datamining/presentation.htm>

### 2.4.1.1 Analyse en composantes principales (ACP).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est utilisée pour étudier les données multidimensionnelles, lorsque toutes les variables observées sont de type numérique et que l'on veut voir s'il y a des liaisons entre ces variables<sup>53</sup>. Etant donné un ensemble d'observations décrites par des variables exclusivement numériques  $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ , l'ACP a pour objectif de décrire ce même ensemble de données par de nouvelles variables en nombre réduit.

Cette méthode (Jolliffe, 2002) réduit la dimension des données, représentant les associations entre les variables. Ces nouvelles variables seront des combinaisons linéaires des variables originales, et porteront le nom de Composantes Principales (CP). L'Analyse en Composantes Principales peut donc être vue comme une technique de réduction de dimensionnalité. Les Composantes Principales définissent des directions de l'espace des observations qui sont deux à deux orthogonales. Autrement dit, l'ACP procède à un changement de repère orthogonal, les directions originales étant remplacées par les Composantes Principales. Celles-ci sont des variables qui s'avèrent être deux à deux décorréelées.

De l'examen de ces projections, il est possible de retirer des informations sur la structure des données, par exemple :

- L'existence et la localisation d'observations "exceptionnelles", ou "aberrantes", c'est à dire très éloignées de l'ensemble des autres observations.
- L'existence de regroupements bien marqués ("classes", ou "clusters"), suggérant l'existence de plusieurs sous-populations au sein de l'ensemble des observations<sup>54</sup>.

Nous avons au départ un tableau de données de mesures où les colonnes affichent les variables socio-démographiques (valeurs numériques) et les lignes représentent les mailles (Annexe 1). Les représentations géométriques entre les lignes et entre les colonnes du tableau de données permettent de représenter visuellement les proximités entre les mailles et entre les dix neuf variables physiques et socio-démographiques (six variables physiques d'un côté et treize variables socio-démographiques de l'autre).

### 2.4.1.2 Classification hiérarchique ascendante

Classifier, c'est regrouper entre eux des objets similaires selon un critère donné. Les techniques de classification visent toutes à répartir ' $n$ ' individus, caractérisés par ' $p$ ' variables en un certain nombre ' $m$ ' de sous-groupes aussi homogènes que possible.

On distingue deux grandes familles de techniques de classification:

a) - Les classifications non hiérarchiques ou partitionnements, aboutissant à la décomposition de l'ensemble de tous les individus en ' $m$ ' ensembles disjoints ou classes d'équivalence. Le nombre ' $m$ ' de classes est fixé. Le résultat obtenu est alors l'ensemble des classes de l'ensemble  $I$  des individus telles que :

- toute classe soit non vide ;
- deux classes distinctes sont disjointes ;
- tout individu appartient à une classe.

---

<sup>53</sup> [http://www.stat.ucl.ac.be/ISpersonnel/lecoute/stats/fiches\\_cours/acp.html](http://www.stat.ucl.ac.be/ISpersonnel/lecoute/stats/fiches_cours/acp.html)

<sup>54</sup> [http://www.aiaccess.net/French/Glossaires/GlosMod/f\\_gm\\_analyse\\_composantes\\_principales.htm](http://www.aiaccess.net/French/Glossaires/GlosMod/f_gm_analyse_composantes_principales.htm)

b) - Les classifications hiérarchiques (Lebart, 2006): pour un niveau de précision donné, deux individus peuvent être confondus dans un même groupe, alors qu'à un niveau de précision plus élevé, ils seront distingués et appartiendront à deux sous-groupes différents. Le résultat d'une classification hiérarchique n'est pas une partition de l'ensemble des individus. C'est une hiérarchie de classes telles que :

- toute classe est non vide ;
- tout individu appartient à une (et même plusieurs) classes ;
- deux classes distinctes sont disjointes, ou vérifient une relation d'inclusion (l'une d'elles est incluse dans l'autre) ;
- toute classe est la réunion des classes qui sont incluses dans elle<sup>55</sup>.

La classification hiérarchique ascendante (Husson, 2010) correspond à une classification non supervisée, aussi appelée clustering (Hartigan, 1979). Cette classification permet d'obtenir un dendrogramme (Kaufman, 1990) qui est un arbre de décision (Figure 32) où chaque ramification correspond à une classe. Un arbre de décision est un outil d'aide à la décision et à l'exploration de données. Il permet de modéliser simplement, graphiquement et rapidement un phénomène mesuré plus ou moins complexe. Sa lisibilité, sa rapidité d'exécution et le peu d'hypothèses nécessaires a priori expliquent sa popularité actuelle<sup>56</sup>. Le choix du seuil où l'arbre est arrêté et le nombre de classes est déterminé ; ceci tient compte d'une brutale diminution de la distance entre les classes (observée sur l'arbre lui-même) et du nombre estimé de classes identifiables. En choisissant un niveau où on coupe l'arbre, on fixe ainsi le nombre de classes retenues.

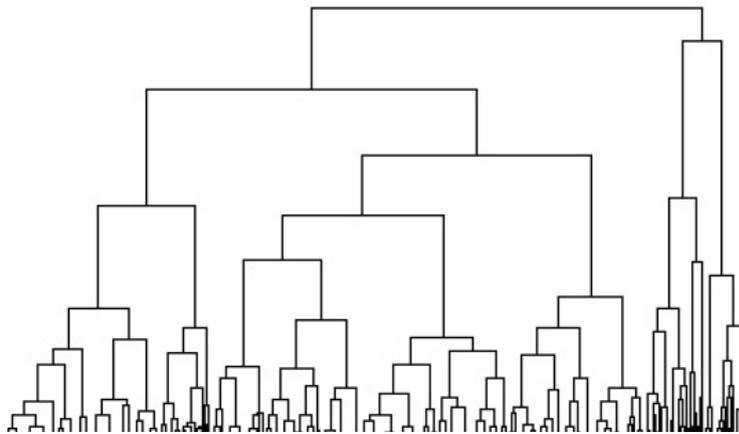


Figure 32- Dendrogramme

<sup>55</sup> <http://geai.univ-brest.fr/~carpenti/2011-2012/Ana-mult-4-2012.pdf>

<sup>56</sup> <http://jaub.developpez.com/tutoriels/weka/weka/>

Nous cherchons à identifier des contextes d'habitations constants dans le temps et facilement caractérisables grâce aux données recueillies de façon systématique. Nous avons donc utilisé le recensement de 1999 qui était à la fois exhaustif (contrairement à celui de 2006 basé sur l'échantillonnage), précis (disposition de variables complémentaires) pour caractériser la classe d'habitat. Le recensement de 1999 est basé sur le système IRIS situé en milieu de période d'étude, contrairement aux autres recensements (1990 et 2006) qui sont en dehors de la période étudiée (1996-2004). Il a permis d'identifier les principales catégories d'habitat grâce à l'ACP et le dendrogramme et servi de base pour une analyse discriminante en vue de rechercher ces mêmes catégories dans les données de recensements précédents (1990) et suivants (2006).

### 2.4.1.3 Analyse Bayésienne discriminante quadratique

L'analyse Bayésienne discriminante quadratique (Srivastava, 2007) est une approche standard dans laquelle les modèles de vraisemblance de chaque classe sont considérées comme une distribution Gaussienne, puis utilise la distribution postérieure afin d'estimer la classe pour un point donnée (Hastie, 2001). Elle permet une validation des étapes précédentes avec l'estimation de la proportion des cellules mal classées suite à la classification hiérarchique et l'élaboration d'un modèle qui sert à classer de nouveaux objets (mailles de 1996 et 2004). Le dendrogramme est utilisé afin de classer toutes les mailles de l'année 2000, ensuite le modèle est construit en combinant les différentes variables afin d'approcher les résultats du dendrogramme. Ce modèle est ainsi utilisé dans un premier temps pour classer les mailles de l'année 2000. Nous pouvons ensuite comparer les deux classifications et estimer un pourcentage d'erreur de classification. Dans un deuxième temps, le modèle est utilisé pour classer et réaliser la classification finale de l'ensemble des données de 1996 et 2004.

### 2.4.1.4 Identification des classes

Après la classification de l'ensemble du territoire pour les trois années, la répartition spatiale des classes et leur description sociale et démographique sont utilisées afin de définir sémantiquement et nommer les classes (centres villes, régions agricoles, touristiques, etc.). Les valeurs maximales et minimales de l'ensemble des variables ont été estimées grâce à l'utilisation de boîte à moustaches afin de caractériser les contextes d'habitations qui seront définis par la suite. La boîte à moustaches une traduction de Box & Whiskers Plot, est une invention de TUKEY en 1977 pour représenter schématiquement la distribution statistique d'une variable. Comme le montre la Figure 33, elle intègre plusieurs paramètres parmi lesquelles :

- Une échelle des valeurs présente sur l'axe vertical,
- Les valeurs maximum et minimum sont représentées,
- La valeur du premier quartile (Q1) qui est le trait inférieur de la boîte,
- La valeur du troisième (Q3) qui est le trait supérieur de la boîte,
- La valeur de second quartile (Q2 qui est donc la médiane) représentée par un trait horizontal au sein de la boîte,
- La moyenne est parfois présente et représentée par un +.

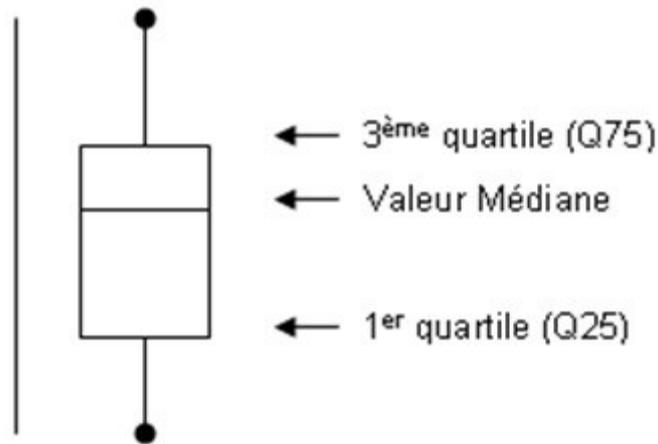


Figure 33- Illustration d'une boîte à moustaches <sup>57</sup>

Ainsi, la corrélation positive ou négative de chaque variable avec chaque contexte est calculée pour identifier les variables qui caractérisent le contexte. Pour ce faire, les corrélations significatives sont retenues qu'elles soient positives ou négatives.

## 2.4.2 Seconde étape : classification supervisée des contextes d'habitation

### 2.4.2.1 Approche raster

La seconde étape vise à préciser la classification non supervisée et localiser les contextes en utilisant la phase d'apprentissage basée sur les résultats issus de la première étape. Afin de préciser la localisation des classes, nous appliquons une classification supervisée des mailles (Kotsiantis, 2007). Les résultats de la première étape (nombre et définition des classes) sont utilisés pour l'étape d'apprentissage de l'algorithme (Vapnik, 2000).

De cette façon, selon l'approche « raster », nous choisissons les mailles représentatives pour chaque classe et chaque année. Une cellule représentative est définie comme étant localisée au centre du cluster de la classe considérée et ne changeant pas de classe durant les trois années d'étude (1996, 2000 et 2004). Ces mailles sont stables dans le temps.

Concernant la méthode « raster », 6 341 mailles stables (sur un total de 12 122 mailles en 1996 et 13 564 en 2004) ont été détectées sur l'ensemble du territoire de 1996 à 2004. Ceci correspond à un pourcentage de mailles stables compris entre 52,3% et 46,7% durant toute la période. Le set de données qui servira pour l'apprentissage est choisi visuellement sur les couches SIG, prenant en compte la connaissance du terrain et particulièrement l'ensemble des régions stables de 1996 à 2004 pour chaque classe. Au final, le set est composé de 617 cellules. Le nombre et la distribution de ces cellules à travers les classes dépendent de la taille de leur effectif.

<sup>57</sup> <http://www.abs92.com/boite/boite32.htm>

Ce nombre est donné par un tirage sans remise utilisant la formule suivante (Cohran, 1977) :

$$\text{Nombre échantillon par classe} = N^2 u^2_{(1-\alpha/2)} / u^2_{(1-\alpha/2)} + 4 (N-1) d^2$$

Où 'N' est le nombre de mailles représentatives dans la même classe,  $u(1-\alpha/2)$  est la loi normale (= 1,96) et 'd' une valeur fixe correspond à la précision ou la marge d'erreur (2, 3, 4 et 10%). Le Tableau 1 donne différentes valeurs pour le nombre de l'échantillon d'apprentissage à prendre pour chaque classe dépendant de 'd'. Nous avons choisi  $d = 10\%$  car nous obtenons pour chaque classe un nombre d'échantillon inférieur à 100. En effet, ce seuil de 100 permet d'être représentatif tant sur la localisation des sections choisies pour l'apprentissage ainsi que leur nombre ; un trop grand nombre de sections sélectionnées au départ ( $d = 2\%$  à  $d = 8\%$ ) par rapport à l'effectif total N de chaque classe rend inefficace un bon traitement des autres sections restant à classer. Le Tableau 1 montre ainsi l'échantillonnage de chaque contexte d'habitation.

Classe	N	d= 2%	d= 3%	d= 4%	d=10%	échantillon
1	372	322,212121	276,03245	229,902703	76,4964029	77
2	540	441	358,556416	284,516129	81,6666667	82
3	1671	985,524687	651,468864	441,809382	90,8715771	91
4	2307	1176,78075	729,838198	476,482323	92,240046	92
5	809	605,300405	460,395591	344,826735	85,9323175	85
6	233	212,550532	191,537448	168,250526	68,4238014	68
7	316	279,350515	243,979741	207,24283	73,8337875	74
8	93	89,5679904	85,6184816	80,6403034	47,4990428	48

**Tableau 1 – Echantillon représentative des cellules**

A partir des mailles sélectionnées, l'apprentissage est effectué en utilisant les données démographiques et d'habitation afin de classer les autres mailles de 1996, 2000 et 2004. Pour cela, deux arbres de décisions avec les arbres fonctionnels FT (Cross, 2001) et C4.5 (Quinlan 1993). Un arbre fonctionnel (Functional Tree) est un arbre multivarié dans lequel la décision prise à chaque noeud est basée sur une combinaison linéaire des variables de décision contrairement aux arbres univariés pour lesquels la décision est basée sur la valeur d'une seule variable. Les combinaisons linéaires sont construites par apprentissage par des techniques de régression linéaire. L'algorithme C4.5 (Gama, 2004 ; Landwehr, 2005) est une extension de l'algorithme ID3. Celui-ci est un algorithme d'apprentissage d'un simple arbre de décision. L'idée de l'algorithme ID3 est de construire l'arbre de décision en cherchant dans la série de données à tester chaque attribut à chaque nœud de l'arbre. Afin de sélectionner l'attribut qui sera le plus utile pour classer une série de données, on introduit le gain d'information afin de minimiser les questions posées.

Nous avons utilisé le système de data mining Weka<sup>58</sup>. Si tous les cas appartiennent à la même classe, l'arbre est une feuille affectée à cette classe. Pour chaque attribut est calculée l'information potentielle apportée par un test sur les attributs, basée que les probabilités de chaque cas ayant une valeur particulière pour l'attribut. Ce processus utilise l'entropie, qui est une mesure du désordre des données. Toutes les séries de données possèdent un petit sous-ensemble des cas qui n'est pas bien défini, et qui diffère des autres sous-ensembles sur son voisinage. Après la création complète de l'arbre, on doit classer tous les cas de la série de

<sup>58</sup> <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

donnée. Cela réduit les erreurs de classification, causé par la spécialisation de la série de donnée. (Korting, 2006). Ensuite, toutes les mailles pour les trois années sont classées. Afin d'analyser la répartition et le changement de classe de ces mailles entre 1996 et 2004, des matrices de confusion (Lewis, 2001) sont effectuées. Elles permettent de savoir quelles proportions de cellules ont changé de classe d'une année à l'autre et vers laquelle ou lesquelles des classes. Ces matrices de confusion (Kohavi, 1998) ont été créées à partir d'un même classifieur pour les différentes données.

#### 2.4.2.2 Approche vecteur

La classification supervisée par l'approche « vecteur » tient compte des découpages administratifs de la Guadeloupe, en particulier celle des sections. La détermination des contextes d'habitation en 1996, 2000 et 2004 est donc effectuée à l'échelle des sections.

Pour cela, un échantillonnage des sections est nécessaire de la même manière de ce qui a été fait auparavant à l'échelle des mailles pour la méthode raster. La couche des mailles les plus stables issue de l'algorithme FT de la classification supervisée c'est-à-dire les mailles qui n'ont pas changé de contexte durant les trois années d'étude a été croisée avec la couche administrative des sections. Cela permet d'estimer la proportion des mailles de chaque contexte contenue dans l'ensemble des sections, la surface des mailles (62 500 m<sup>2</sup>) étant inférieur aux sections. Nous obtenons ainsi le nombre et la répartition spatiale des sections pour chaque contexte qui n'ont pas changé de classe entre 1996 et 2004.

A partir de cette couche, un nombre de sections représentatives de la répartition de chacun des huit contextes d'habitations sur le territoire a été défini en tenant compte de la répartition spatiale de chaque classe entre 1996 et 2004 (Tableau 2). Par la suite, les sections échantillonnées servent à classifier les autres sections en 1996, 2000 et 2004 ; l'algorithme FT utilisé pour la méthode raster est testé pour aboutir à la détermination des contextes d'habitation.

Classe	Effectif sections
classe 1	8
classe 2	8
classe 3	9
classe 4	9
classe 5	9
classe 6	7
classe 7	7
classe 8	5

**Tableau 2- Effectif des sections représentatives selon les contextes d'habitation**

De nouvelles cartes des contextes d'habitations sont ainsi obtenues. De la même façon que pour l'approche raster, des matrices de confusion sont produites afin de vérifier la proportion des sections changeant de classe entre 1996 et 2004.

## 2.5 Influence des contextes d'habitations sur les cas de dengue

Le but de l'étude est d'analyser la relation entre le contexte d'habitation et les cas de la maladie chez l'homme avec la présence ou l'absence de cas de dengue.

L'influence du contexte d'habitation est étudiée selon deux axes principaux:

- d'une part les zones qui présentent différents contextes au même moment de l'étude avec une stabilité des sections selon la classe durant l'ensemble de la période 1996-2004. Autrement dit, une section appartenant à la classe 1 sera classée également comme telle en 2000 et 2004;
- les mêmes zones à des périodes différentes où les zones en question appartiennent à des classes différentes. L'évolution cohérente en terme de classification sera prise en compte avec un seul changement de classification, stable dans le temps (par exemple classe 1 en 1996, classe 1 en 2000, classe 2 en 2004 ou classe 1 en 1996, classe 2 en 2000, classe 2 en 2004) et en terme de connaissance de l'évolution réelle sur le terrain (progression de l'urbanisme, extension d'une zone d'habitat pavillonnaire, développement d'une zone touristique, etc).

La deuxième analyse concerne l'effet sur la transmission de la maladie. On dispose pour cela de deux sources d'information: les cas suspects et les cas confirmés qui peuvent être utilisés sous forme quantitative (incidence) ou qualitative (présence/absence). Selon que l'on soit dans le cas de sections stables ou de sections avec changement de classe entre 2000 et 2008, les incidences de cas confirmés non nulles ont été considérées. Par rapport aux incidences nulles, seules les sections couvertes par la surveillance des médecins sentinelles ont été prises en compte.

L'intérêt de l'approche spatiale de l'incidence des cas de dengue et de la définition des contextes d'habitation est de déterminer quels sont les contextes susceptibles de voir se développer une présence plus intense du moustique vecteur et potentiellement d'observer un nombre de cas suspects et confirmés de dengue plus important. Ainsi, la corrélation entre les données sanitaires et les contextes d'habitation est étudiée afin de déterminer s'il existe des contextes plus favorables que d'autres à la transmission de la dengue en Guadeloupe. L'analyse repose sur la recherche d'une corrélation entre la fréquence d'un contexte d'habitation et l'incidence des cas de dengue. Les conditions environnementales, la structure urbaine mais également le comportement de la population peuvent être liés de différentes façons à l'incidence de la dengue et les habitats des larves d'*Aedes aegypti* (Troyo, 2007). L'analyse rétrospective des données de dengue entre 2000 et 2008 est réalisée en fonction du type d'habitat et de son évolution entre 1996 et 2004. La significativité statistique des résultats en fonction du contexte est testée. La corrélation des données est effectuée à l'échelle géographique de la section constituant l'échelle commune aux deux types de variables (incidence dengue et contexte d'habitation).

Le test statistique d'Anova a été effectué afin de savoir si les incidences observées entre 2000 et 2008 sont significatives et sont sous l'influence d'un ou plusieurs contextes d'habitations. L'analyse de la variance (le terme anglais ANOVA : ANalysis Of VAriance) s'applique lorsque l'on mesure une ou plusieurs variables explicatives catégorielles ayant de l'influence sur la distribution d'une variable continue à expliquer. Dans notre cas, la variable explicative catégorielle est une variable qualitative avec les huit contextes d'habitations, la variable continue constitue l'incidence des cas confirmés de dengue. On parle alors d'analyse à un facteur lorsque l'analyse porte sur un modèle décrit par un facteur de variabilité.

Le modèle général s'écrit :

$$y_{ijk\dots} = \mu + f(i, j, k, \dots) + \epsilon$$

avec  $Y_{ijk\dots}$  la variable à expliquer,  $\mu$  une constante,  $\epsilon$  une relation entre les variables explicatives et l'erreur de mesure.

Par hypothèse, la variable observée suit une loi normale. La loi du  $\chi^2$  à degrés de liberté étant définie comme étant la somme de lois normales au carré, les sommes des carrés des écarts suivent des lois du  $\chi^2$ , avec le nombre de degrés de liberté :

$$SCE \sim \chi^2(DDL)$$

La forme générale de l'analyse de variance repose sur le test de Fisher avec deux hypothèses à tester :

- L'hypothèse nulle correspond au cas où les distributions suivent la même loi normale.
- L'hypothèse alternative est qu'il existe au moins une distribution dont la moyenne s'écarte des autres moyennes.

La loi de Fisher est définie comme le rapport de deux lois du  $\chi^2$ . Dans le cas de l'hypothèse nulle, le rapport entre deux estimateurs non biaisés de la variance doit donc suivre une Loi de Fisher :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{\frac{SCE_1}{DDL_1}}{\frac{SCE_2}{DDL_2}} \sim F(DDL_1, DDL_2)$$

Si la valeur de F n'est pas compatible avec cette loi de Fisher (c'est-à-dire que la valeur de F est supérieure au seuil de rejet), alors on rejette l'hypothèse nulle : on conclut qu'il existe une différence statistiquement significative entre les distributions.

Par hypothèse, la variable observée  $y_i$  suit une loi normale. La loi du  $\chi^2$  à k degrés de liberté étant définie comme étant la somme k de lois normales au carré, les sommes des carrés des écarts SCE suivent les lois du  $\chi^2$  suivantes, avec p le nombre de niveaux du facteur de variabilité et n le nombre total d'individu :

$$SCE_{\text{facteur}} = \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \sim \chi^2(DDL_{\text{facteur}}) \quad \text{avec } DDL_{\text{facteur}} = \sum_{i=1}^{p-1} 1 = p-1$$

Les variances s'obtiennent en faisant le rapport de la somme des carrés des écarts sur le nombre de degrés de liberté :

$$S_{\text{facteur}}^2 = \frac{SCE_{\text{facteur}}}{p-1} = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$S^2_{\text{residu}} = \frac{SCE_{\text{residu}}}{n - p} = \frac{1}{n - p} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (y_i^j - \bar{y}_i)^2$$

La Loi de Fisher étant défini comme le rapport de deux lois du  $\chi^2$ , le rapport  $S^2_{\text{facteur}}/S^2_{\text{residu}}$  soit donc une Loi de Fisher :

$$F = \frac{S^2_{\text{facteur}}}{S^2_{\text{residu}}} = \frac{\frac{SCE_{\text{facteur}}}{p - 1}}{\frac{SCE_{\text{residu}}}{n - p}} \sim F(p - 1, n - p)$$

Au final, la probabilité que l'hypothèse nulle soit vraie est donné par la p-value :

$$P_{H_0}(F > F_{\text{obs}})$$

Si  $p < 0,05$ , on peut rejeter l'hypothèse nulle avec très peu de risque (Saporta, 2006)

Le test d'ANOVA est ainsi effectué sur l'ensemble de la période 2000-2008 sur les sections stables d'un côté et les sections qui changent de contexte une fois entre 1996 et 2004. L'amélioration de la couverture des médecins sentinelles concernant la surveillance des cas suspects au cours du temps est prise en compte afin de considérer uniquement les sections avec une incidence nulle se situant dans la zone de couverture des médecins.

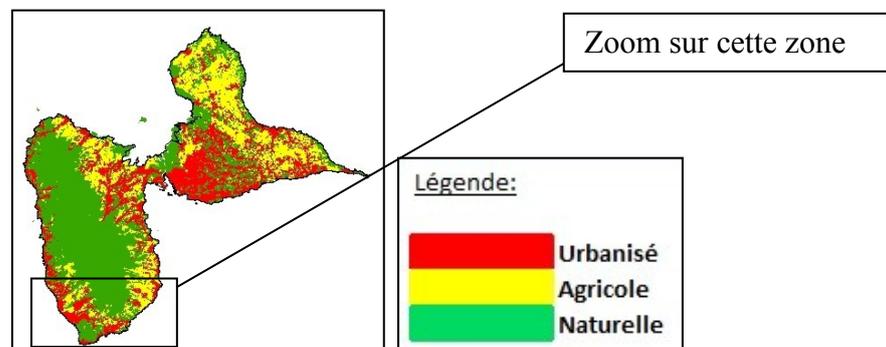
Le p-value est déterminé avec une erreur de 5% afin de vérifier l'hypothèse nulle  $H_0$  que les différents contextes d'habitations définis en Guadeloupe n'ont pas d'influence sur les incidences observées dans le département entre 2000 et 2008 et donc sur la transmission de la dengue d'une manière générale.  $H_0$  est rejeté si la valeur de  $p < 0.05$  avec une erreur de 5%. Dans le cas contraire, l'hypothèse nulle  $H_0$  est acceptée.

### 3. Résultats

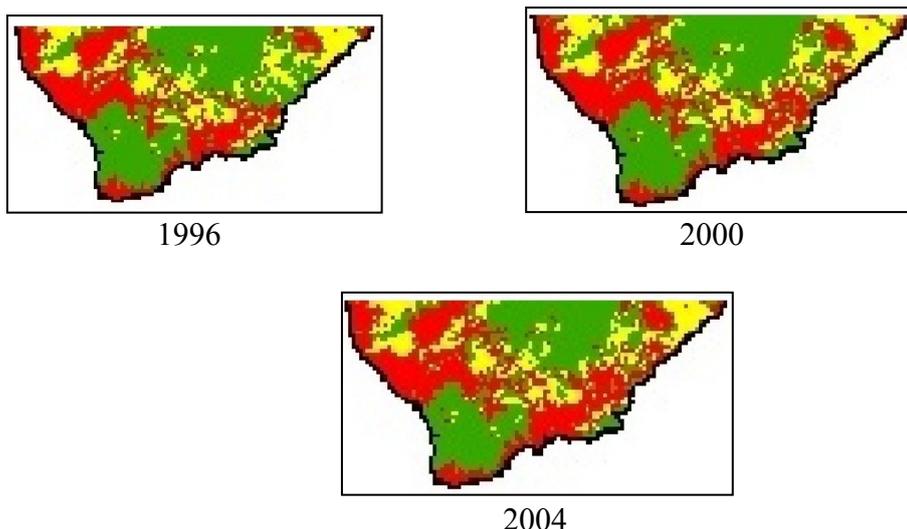
#### 3.1 Détermination des contextes d'habitation

##### 3.1.1 Découpage du territoire en espaces naturel, agricole et urbain

Le traitement préliminaire des données sources relatives aux couches de sols et de bâti aboutit à la définition des espaces naturels, agricoles et urbains en 1996, 2000 et 2004 (voir paragraphe 2.3.3.1). Ainsi, un découpage du territoire en trois types d'espaces pour chaque année d'étude est obtenu d'après la Figure 34 a) avec l'espace urbanisé représenté en rouge, l'agricole en jaune et le naturel en vert. Un zoom sur le sud Basse-Terre a été effectué (Figure 34 b)) car les changements d'espace d'une même zone à l'échelle de l'ensemble du territoire ne sont pas visibles.



##### a) Représentation en 1996 sur l'ensemble du territoire des trois espaces



##### b) Evolution des trois types d'espaces dans le sud Basse-Terre

Figure 34 a et b)- Evolution des espaces « agricole », « urbanisé net » et « naturel » en Guadeloupe de 1996 à 2004

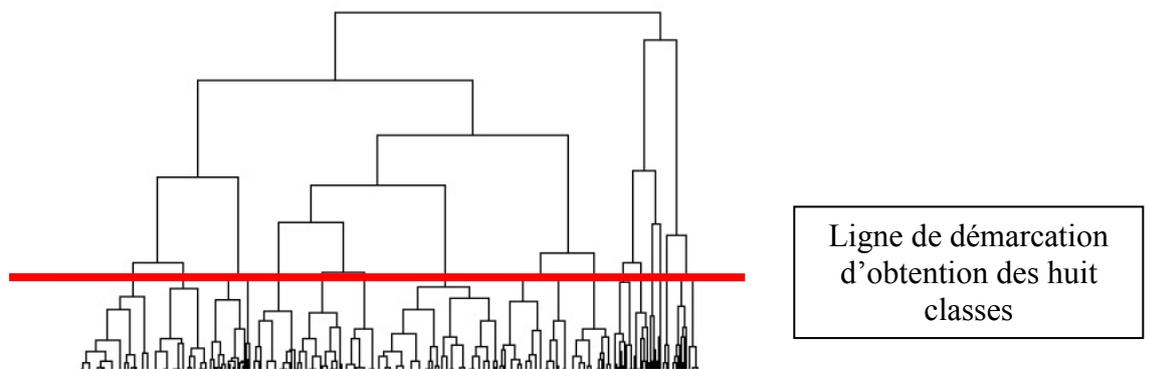
- En 2004, les espaces urbanisés représentent 29,6% du territoire contre 22,7% pour les espaces agricoles et 47,7% pour les espaces naturels.
- Entre 2000 et 2004, la proportion de territoire passé de l'espace agricole à l'espace naturel est 0,7%, 0,9% de l'espace agricole à l'espace urbain, 0,1% de la zone naturelle à l'espace agricole et enfin 5,1% de l'espace naturel à la zone urbaine.

### 3.1.2 Approche « raster »

Nous présentons les différents résultats relatifs à l'obtention des contextes d'habitations par la méthode « raster ». L'ensemble des surfaces régulières de 250m×250m est ainsi classé dans un contexte d'habitation précis.

#### 3.1.2.1 Identification des classes d'habitation

La Figure 35 montre le dendrogramme obtenu avec les données de l'année 2000 avec un nombre de classes compris entre 1 et 150. Ce dendrogramme est obtenu à partir des 19 variables physiques et socio-démographiques définis précédemment (voir paragraphe 2.3.3.2). Ces variables ont permis de déterminer en sortie les classes correspondant aux contextes d'habitation. Ensuite, différents niveaux de découpage de l'arbre ont été testés. Le nombre de huit classes finales a été choisi en tenant compte des 19 variables. La validité de ce nombre de classes a été vérifiée en fonction de la répartition spatiale. Celle-ci a montré la meilleure stabilité des classes durant la période d'étude (1996 à 2004) avec le choix de huit contextes d'habitations. La ligne rouge indique le niveau de découpage de l'arbre correspondant aux classes considérées.



**Figure 35– Dendrogramme**

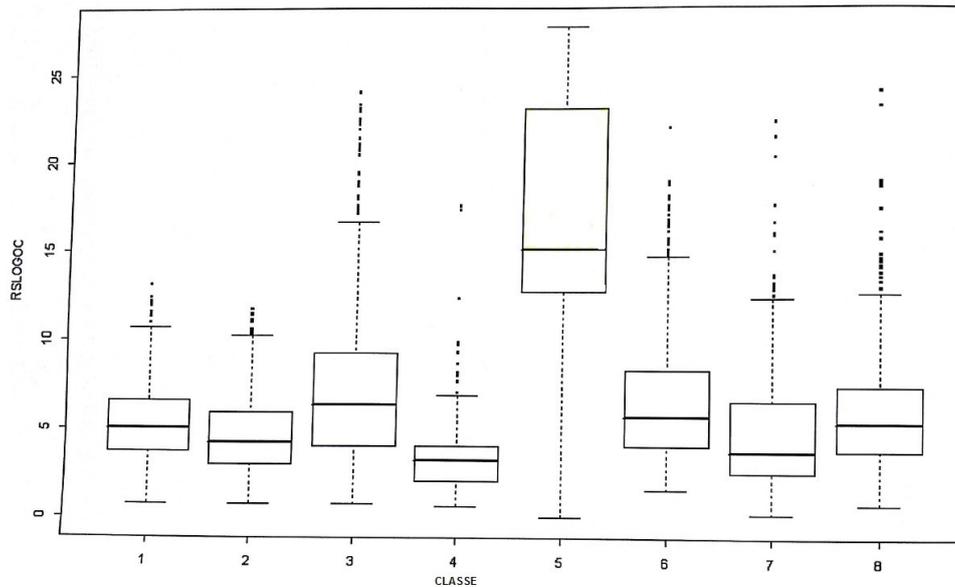
L'analyse Bayésienne discriminante quadratique appliquée au dendrogramme conduit à un pourcentage d'erreur de classification de 12%, pourcentage faible donc acceptable. Dans le cadre de la classification non supervisée par l'approche « raster », la distribution des mailles pour chaque classe et l'identification des contextes d'habitation sont données par le Tableau 3.

Classe	Nombre de mailles			Couleur
	1996	2000	2004	
1	736	1006	675	Bleu
2	1261	1569	1234	Vert
3	2621	3070	3358	Rose
4	4675	3068	3363	Jaune
5	880	1252	3371	Orange
6	826	1887	855	Rouge
7	1022	627	516	Gris
8	101	128	192	Noir
<b>Total</b>	<b>12122</b>	<b>12607</b>	<b>13564</b>	

**Tableau 3 – Répartition des mailles de la classification non supervisée de l’approche « raster »**

Nous observons une augmentation du nombre de mailles entre 1996 et 2004, passant de 12 122 à 13 564. Cela signifie une augmentation de bâtis au cours du temps. Dans le détail, le tableau montre plusieurs tendances concernant l’évolution des contextes d’habitation. Les classes 3,5 et 8 voient une augmentation du nombre de leurs mailles entre 1996 et 2004 alors que dans le même temps la classe 7 diminue. Quant aux classes 1, 2, 4 et 6, elles connaissent des évolutions irrégulières, avec soit une diminution du nombre de mailles entre 1996 et 2000, ensuite une augmentation entre 2000 et 2004 (classe 4), soit une augmentation entre 1996 et 2000 puis une diminution entre 2000 et 2004 (classes 1, 2 et 6).

Le Tableau 4 présente la description des variables socio-économiques et physiques caractéristiques des huit contextes d’habitation observées. Les valeurs minimales, maximales et moyennes calculées grâce à l’utilisation de boîte à moustaches ont permis ensuite de caractériser précisément chaque contexte. La Figure 36 illustre un exemple d’analyse avec le pourcentage de résidences secondaires et logements occasionnels selon les huit contextes d’habitations. Ainsi, nous remarquons que la classe 5 constitue le contexte où le nombre de résidence secondaire est le plus important avec des chiffres compris dans un intervalle entre 10 et 25%.



**Figure 36- Boîte à moustache des valeurs du pourcentage de résidences secondaires et logements occasionnels selon les huit contextes d'habitations**

D'après le Tableau 4, la description des contextes d'habitation peuvent être effectuée :

- La classe 1 est caractérisée par beaucoup de maisons vacantes et peu d'habitants par foyer,
- La classe 2 est défini par un espace naturel important et une densité faible de bâtis (faible valeur d'urbanisé net),
- La classe 4 se distingue par une valeur maximale d'agriculteurs exploitants et d'ouvriers,
- Quant à la classe 5, elle se distingue par un nombre important d'habitats avec climatisation et un nombre élevé de voitures supérieur à deux par habitat,
- Une valeur de densité locale élevée et un nombre de cases traditionnelles / maisons en bois important caractérisent la classe 7,
- La classe 8 possède également un densité locale élevée mais aussi une proportion importante de famille avec un enfant entre autres.

La classe 3 correspond à une zone tampon entre deux (ou plus) contextes distincts sur le terrain tandis que la classe 6 correspond à une zone rurale caractérisée par des espaces cultivés habités. Ces deux classes ont été définies sémantiquement grâce des professionnels de l'urbanisme, tenant compte des données en notre possession. Ces zones rurales et intermédiaires ne figurent pas dans le Tableau 4 car aucune tendance concernant les valeurs des variables physiques et socio-démographiques à partir des boites à moustaches ne s'est clairement dégagée. Dans ce tableau, il faut noter qu'il y a trente variables alors que la définition des contextes d'habitations s'est effectuée à partir de 19 variables. Cela s'explique par des variables intermédiaires comme la surface Urbanisé brut (Ubrut) ou le nombre d'ouvriers qui ont servi dans la définition de la sémantique correspondant à chaque numéro de classe.

Par la suite, une analyse sémantique et spatiale a été ainsi faite afin d'identifier les huit classes. Ainsi, la classe 1 a été déterminée comme correspondant à une zone touristique, compte tenu de la faible valeur des variables suivantes : personnes par logement, résidence principale et des pourcentages maximums des variables : logements occasionnels, vacants. En effet, les logements vacants ou avec peu ou pas de personnes sont susceptibles de devenir des hébergements pour les touristes (gîtes, chambres d'hôte etc.). Si l'on observe la classe 5, les caractéristiques telles une proportion élevée de cadres, d'habitation avec climatisation et

possédant au moins deux voitures reflètent l'occupation par des familles aisées. Cette classe 5 correspond aux quartiers résidentiels composés de maisons pavillonnaires.

En analysant de façon identique les variables des autres classes, elles sont définies comme telle :

- classe 1 : zone touristique ;
- classe 2 : zone naturelle ;
- classe 3 : zone intermédiaire ;
- classe 4 : zone agricole ;
- classe 6 : zone rurale ;
- classe 7 : zone périphérique à la zone urbaine ;
- classe 8 : zone urbaine.

Variables physiques et démographiques	1	2	4	5	7	8
Espace naturel		■				■
Espace agricole			■			
InterUA			■			
Ubrut		■				■
Unet		■		■		■
Densité locale					■	■
Densité alentour					■	■
Dispersé		■				
Logement occasionnel/secondaire	■					
Logement vacant	■					
Artisan/Chef d'entreprise	■					
Résidence principale	■					
Personne par logement	■					
Agriculteur exploitant			■			
Ouvrier			■			
Habitat de fortune			■			
Sans WC/douche			■			
Cadre				■		
Voiture 2+				■	■	
Zéro voiture				■	■	
Maisons en bois					■	
Case traditionnelle					■	■
Habitat avec climatisation				■		■
Profession intermédiaire				■		■
Moyenne 1 à 4 pièces						■
Famille avec un enfant et plus						■
Employé						■
Maisons en dur					■	■
Propriétaires occupants					■	■
Retraité						■

■ valeur minimale      ■ valeur maximale

**Tableau 4 – Description des variables caractéristiques pour les classes 1, 2, 4, 5, 7 et 8**

L'habitat en Guadeloupe est caractérisé ainsi sur le terrain selon sa densité, son aspect structuré et sa répartition sur le territoire. Les Figures 37 à 43 montrent l'illustration visuelle sur le terrain des différents contextes d'habitation grâce aux photos satellites. Ainsi, nous présentons respectivement les zones urbaines, pavillonnaires, agricoles, naturelles, périphériques, touristiques et rurales.



**Figure 37- Habitations dans une zone urbaine**



**Figure 38- Habitations dans une zone pavillonnaire**



**Figure 39- Habitations dans une zone agricole**



**Figure 40- Habitations dans une zone naturelle**



**Figure 41- Habitations dans une zone périphérique**



**Figure 42- Habitations dans une zone touristique**

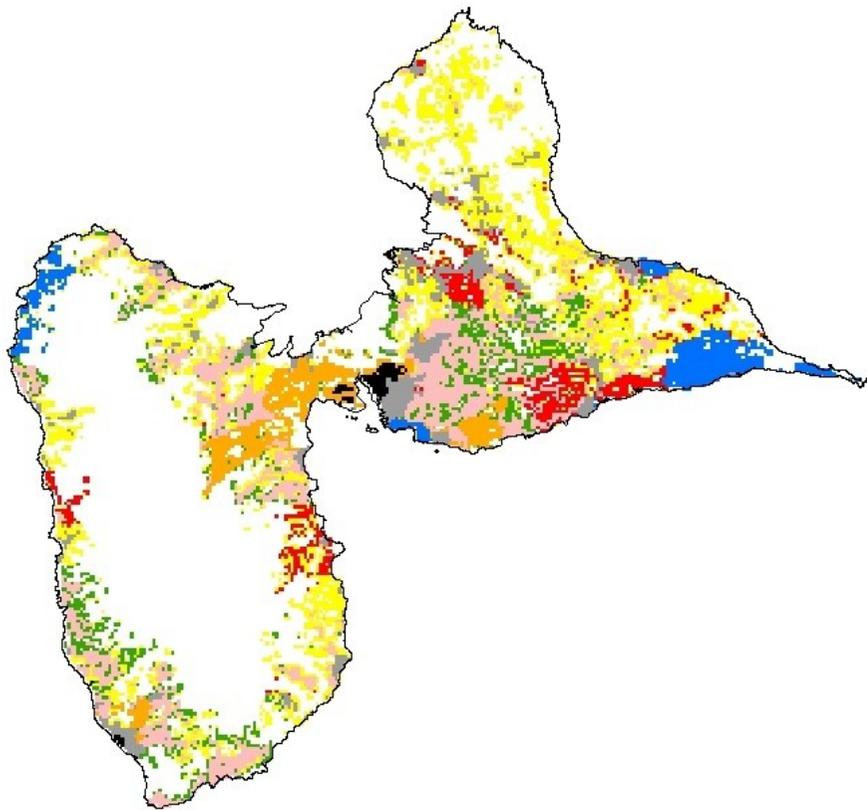


**Figure 43- Habitations dans une zone rurale** <sup>59</sup>

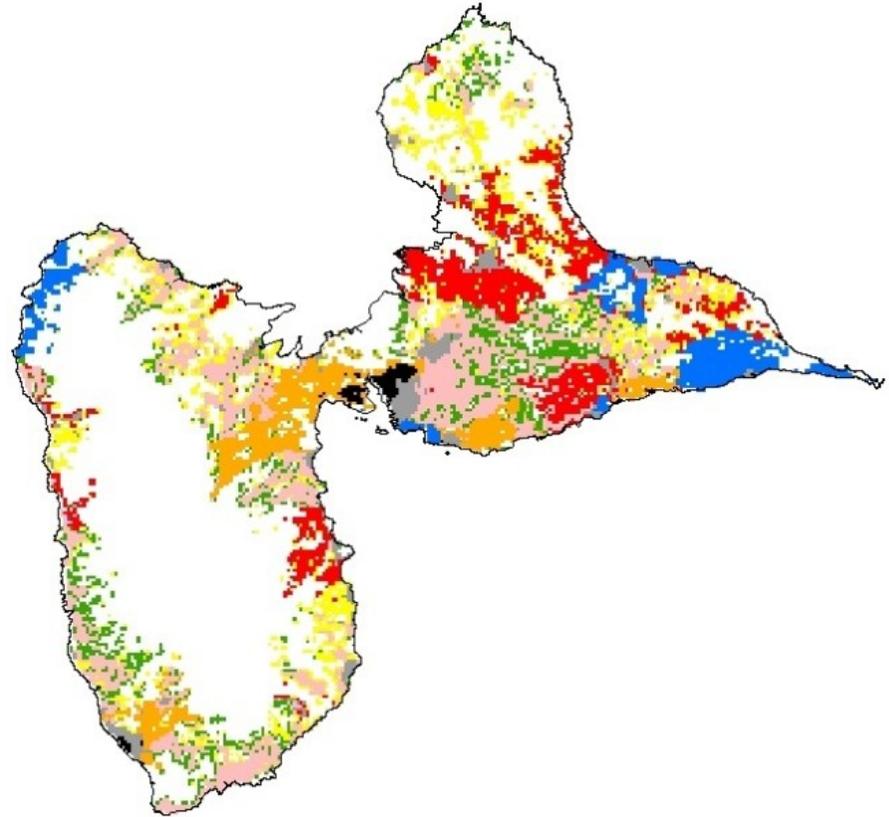
### 3.1.2.2 Répartition des contextes d'habitation selon la classification non supervisée

La Figure 44 montre la répartition spatiale des huit classes de contextes d'habitation sur le territoire en 1996, 2000 et 2004. Cette distribution est le résultat de la classification non supervisée de l'ensemble des mailles. Les mailles sans aucune habitation sont indiquées en blanc sur les différentes couches.

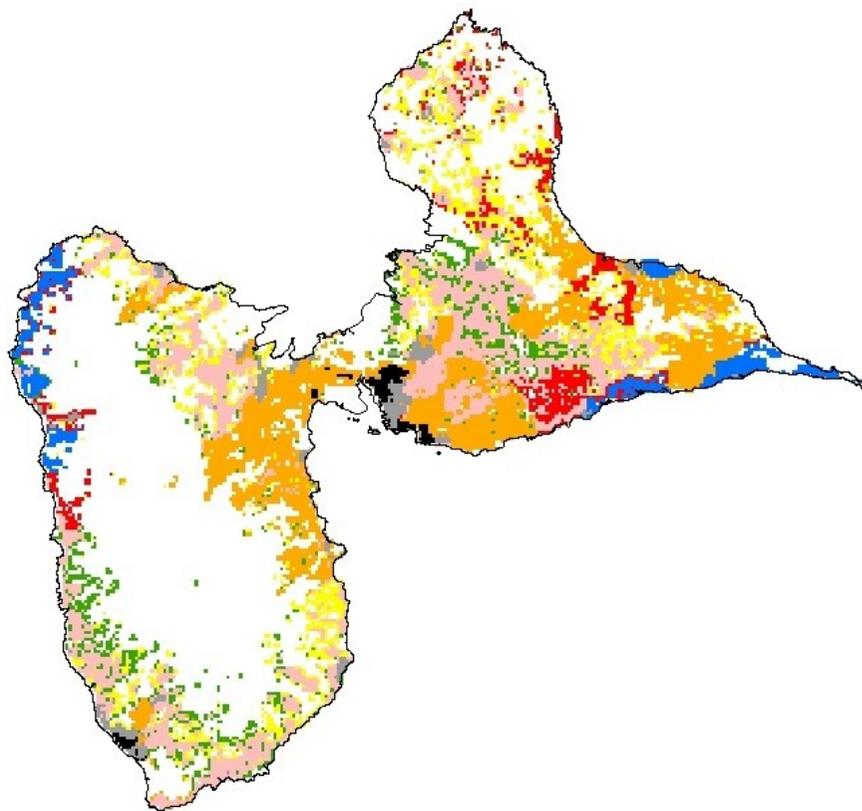
<sup>59</sup> <http://maps.google.com/maps?hl=fr&tab=wl>



a) 1996



b) 2000



c)2004

**Légende**

- Zone touristique
- Zone naturelle
- Zone intermédiaire
- Zone agricole
- Zone résidentielle
- Zone rurale
- Zone périphérique
- Zone urbaine

Figure 44 – Répartition spatiale des contextes d’habitation selon la classification non supervisée

La répartition spatiale des différents contextes entre 1996 et 2004 confirme les évolutions observées précédemment dans le Tableau 3. Les zones naturelles et agricoles ont eu une évolution irrégulière de leur répartition spatiale. Néanmoins, les changements au niveau de cette répartition entre 1996 et 2004 de ces deux classes ne sont pas visibles. Les zones naturelles et agricoles se différencient des espaces agricoles et naturelles stricto sensu car les classes 2 et 4 sont obtenues à l'issue de la classification non supervisée avec en entrée dix neuf variables physiques et socio-démographiques. Quant aux espaces naturels et agricoles, elles résultent du traitement des couches de sols.

Des évolutions irrégulières visibles sur les cartes cette fois-ci sont observées pour les classes 1 et 6, faisant référence aux zones touristiques (bleu) et rurales (rouge). Les évolutions de classe affectant la zone touristique entre 1996 et 2004 concernent essentiellement la côte sud avec les communes du Gosier, Sainte-Anne et Sainte-François ainsi que le Moule. Quant aux changements au niveau des zones rurales, elles concernent le centre et Nord Grande Terre avec les communes de Morne-à-l'Eau et Petit-Canal.

L'évolution de la classe 8 relative à la zone urbaine est relativement stable au cours du temps, concentrées principalement autour des communes de Pointe-à-Pitre et Basse-Terre, chef-lieu du département. Autour de celles-ci, une extension de la classe 7 correspondant aux zones périphériques est observée, concentrées au Gosier et les Abymes avec des caractéristiques proches des deux pôles Pointois et Basse-Terriens. La zone résidentielle (classe 5) a connu une extension géographique au cours du temps, principalement en Grande-Terre et dans les communes de Baie-Mahault et Petit-Bourg. Enfin, il y a eu pas d'évolution majeure des différents contextes dans la côte ouest et le Sud Basse-Terre entre 1996 et 2004.

Les Tableaux 5 et 6 correspondent à des matrices de confusion avec l'étude du transfert des mailles entre les classes de 1996 à 2000 et de 2000 à 2004. Les pourcentages représentés dans les deux matrices illustrent la proportion de mailles qui change ou non de classe d'une année à l'autre.

		1996							
2000	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	98,5	0,0	0,1	4,3	0,0	2,8	3,8	0,0	
2	0,0	84,8	0,8	7,4	0,3	0,8	0,2	0,0	
3	0,0	7,9	88,8	9,8	0,0	1,7	13,3	0,0	
4	0,0	0,2	0,1	60,7	0,5	0,1	0,1	0,0	
5	0,3	5,0	5,8	1,0	96,5	10,7	1,7	2,0	
6	0,0	2,0	4,1	15,8	0,0	82,6	27,0	0,0	
7	1,1	0,1	0,3	1,0	0,0	1,3	53,6	0,0	
8	0,1	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,3	98,0	

**Tableau 5 – Evolution des contextes d'habitation entre 1996 et 2000 (pourcentage)**

**2000**

2004	1	2	3	4	5	6	7	8
1	41,4	1,1	1,2	2,1	6,2	0,8	2,7	0,0
2	0,0	45,4	0,4	1,9	3,8	9,7	0,2	0,0
3	0,5	16,7	69,4	3,7	4,8	31,5	28,4	0,0
4	9,1	5,9	2,5	81,4	1,8	6,2	3,8	0,0
5	28,1	25,7	23,6	7,8	78,4	28,2	8,8	5,5
6	16,5	5,0	0,9	1,4	1,2	23,3	0,2	0,0
7	1,2	0,2	2,0	1,8	1,8	0,3	53,7	1,5
8	3,2	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,2	93,0

**Tableau 6- Evolution des contextes d'habitation entre 2000 et 2004 (pourcentage)**

Entre 1996 et 2000 (Tableau 5), pour les classes 1, 2, 3, 5, 6 et 8, plus de 80% des cellules conservent la même classe et dépassent même les 90% pour les classes 1 et 8. *A contrario*, entre 2000 et 2004 (Tableau 6), seules les classes 4 et 8 voient leur stabilité dépasser les 80%. Cette comparaison entre 1996 et 2000 montrent une bonne conservation de la classe de la majorité des mailles. Néanmoins, la tendance inverse est observée entre 2000 et 2004 avec une moins bonne stabilité des classes.

Ainsi, la classe 1 montre une conservation de l'ordre de 41,4% entre 2000 et 2004 alors que dans le même temps, 28,1% des mailles passent de la classe 1 à 5 et 16,5% de la classe 1 à 6. La même observation peut être faite pour la classe 2 où 45,4% des mailles sont conservés alors que 16,7% et 25,7% passent respectivement aux classes 3 et 5 en 2004. Les mailles représentant la classe 6 suivent la même tendance avec seulement 23,3% conservées entre 2000 et 2004 alors que nous avons 28,2% des mailles qui passent à la classe 5 et 31,5% à la classe 3. Concernant les classes 3 et 7, 69,4% et 53,7% sont respectivement conservées alors que 23,6% de la classe 3 passent à la classe 5 et 28,4% de la classe 7 basculent dans la classe 3 en 2004.

Néanmoins, malgré une moins bonne stabilité des classes entre 2000 et 2004 qu'entre 1996 et 2000, une première tendance de la répartition spatiale de ces contextes est observée entre 1996 et 2004.

### 3.1.2.3 Répartition des contextes d'habitation selon la classification supervisée

La classification supervisée à l'échelle de la maille permet de confirmer, stabiliser et affiner la répartition spatiale des contextes d'habitation obtenue précédemment par la méthode non supervisée. Les résultats présentés ici ont été obtenus à partir de la sélection de 617 mailles représentatives des 6 341 mailles stables de la classification « raster » entre 1996 et 2004. La phase d'apprentissage y a été appliquée afin de classifier les autres mailles et l'utilisation de l'arbre de décision avec deux algorithmes ont été utilisés : C4.5 et Fonction Tree (FT).

Le Tableau 7 montre la répartition des mailles de l'ensemble des contextes d'habitation pour les deux algorithmes. Les classes 2, 3 et 4 sont les plus représentées en nombre de mailles pour C4.5 et FT. Si l'on compare l'évolution observée du nombre de mailles des huit classes

observée entre les deux algorithmes entre 1996 et 2004, les classes 1,3,4, 5, 6 et 7 sont irrégulières pour C4.5 et les classes 2, 5 et 6 pour FT.

Durant la période d'étude, l'algorithme FT montre une évolution normale (augmentation ou diminution) d'une majorité des classes (1, 3, 4, 7 et 8) alors que ce n'est pas le cas pour l'algorithme C4.5 avec seulement les classes 2 et 8. D'après l'évolution des classes des deux algorithmes, nous obtenons de meilleurs résultats pour l'algorithme FT car il y a une évolution régulière de la majorité des huit contextes d'habitations contrairement aux résultats de l'algorithme C4.5.

Classe	Nombre de mailles (C4.5)			Nombre de mailles (FT)			Description des contextes	Couleur
	1996	2000	2004	1996	2000	2004		
1	498	449	506	447	458	882	Zone touristique	Bleu
2	1369	1460	2050	1650	1882	1704	Zone naturelle	Vert
3	3424	3552	3169	2733	3234	3341	Zone intermédiaire	Rose
4	4182	3295	4941	3662	3656	4290	Zone agricole	Jaune
5	958	1347	940	1867	1574	1678	Zone résidentielle	Orange
6	1126	1545	953	1113	1185	1180	Zone rurale	Rouge
7	458	711	389	537	505	348	Zone périphérique	Gris
8	207	248	616	113	113	141	Zone urbaine	Noir
<b>Total</b>	<b>12122</b>	<b>12607</b>	<b>13564</b>	<b>12122</b>	<b>12607</b>	<b>13564</b>		

**Tableau 7 – Répartition des mailles après la classification supervisée**

La Figure 45 a et b) montre la répartition spatiale des contextes d'habitation pour les deux algorithmes.

Si l'on compare les deux algorithmes entre eux pour l'ensemble des contextes d'habitations, le contexte urbain (classe 8, noir) subit une extension géographique sur plusieurs communes du département avec l'utilisation de l'algorithme C4.5 entre 1996 et 2004. A contrario, cette même classe reste concentrée aux communes de Pointe à Pitre et Basse-Terre pour l'algorithme FT, comme ce qui a été déjà observé dans la classification non supervisée. La zone périphérique (classe 7, gris) est répartie principalement autour des zones urbaines de Pointe à Pitre et Basse Terre pour les deux algorithmes.

Le contexte naturel (classe 2, vert) est réparti principalement autour du parc National situé au centre de la Basse-Terre et dans la région des Grands Fonds au centre de la Grande-Terre alors que le contexte agricole (classe 4, jaune) se retrouve essentiellement au nord Grande-Terre et sur la côte est de la Basse-Terre. Les tendances concernant la classification de ces deux contextes par les algorithmes C4.5 et FT sont similaires à celles observées pour la classification non supervisée (Figure 44). Quant aux contextes touristiques (classe 1, bleu), résidentiels (classe 5, orange) et ruraux (classe 6, rouge), la répartition spatiale est similaire entre les deux algorithmes et comparable avec les cartes obtenues de la classification non supervisée. Ainsi, on retrouve les zones touristiques essentiellement au nord Basse Terre et au sud est de la Grande Terre alors que les zones résidentielles se concentrent autour des zones urbaines et périphériques.

En conclusion, selon l'algorithme utilisé, des évolutions plus ou moins irrégulières sont observées selon le contexte urbain étudié, comme le confirme les chiffres du Tableau 7 d'une part et les cartes de la répartition spatiale de la Figure 45 par ailleurs. La répartition spatiale de la méthode supervisée montre une meilleure stabilité de l'ensemble des classes entre 1996 et 2004 par rapport à la méthode non supervisée. De plus, l'algorithme FT se révèle être plus stable que l'algorithme C4.5 au cours du temps.

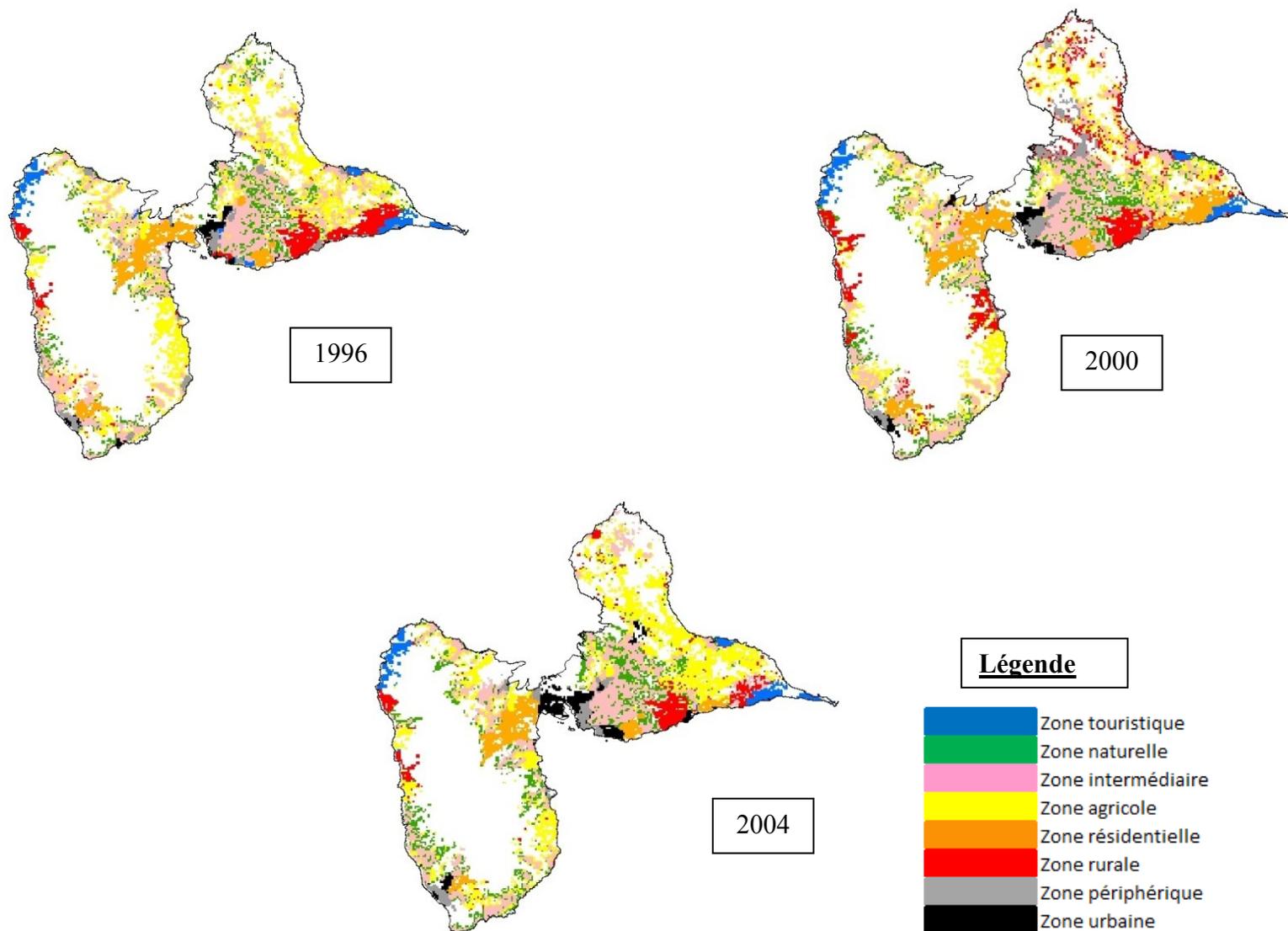


Figure 45 a)- Répartition spatiale des contextes d'habitations entre 1996 et 2004 selon l'algorithme C4.5 de la classification supervisée

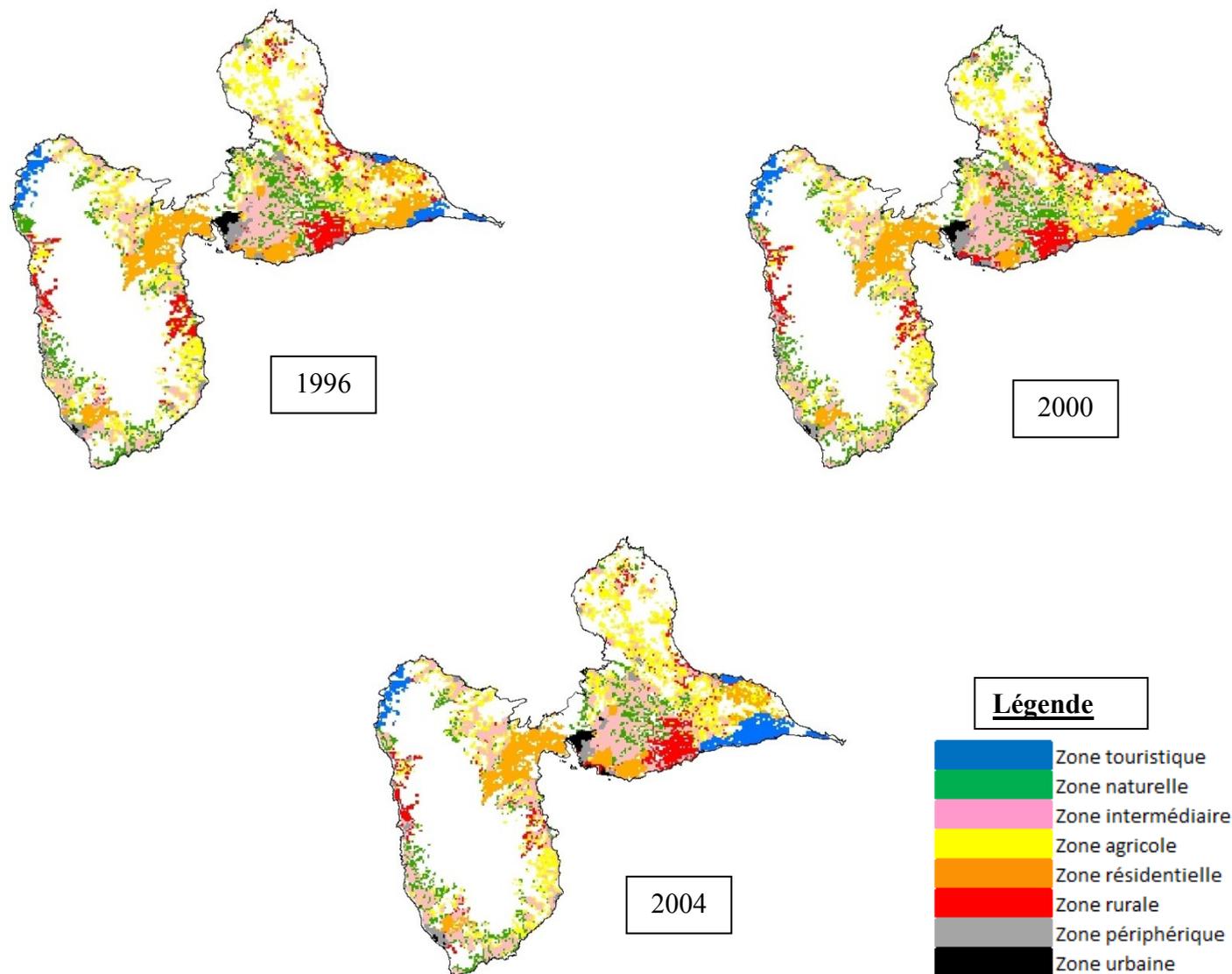


Figure 45 b) – Répartition spatiale des contextes d’habitation entre 1996 et 2004 selon l’algorithme FT de la classification supervisée

Les Tableaux 8 et 9 correspondent à la matrice de confusion de l'algorithme FT entre 1996 et 2000 puis entre 2000 et 2004. Nous avons privilégié le modèle issu de l'algorithme FT par rapport à C4.5 car offre des résultats plus stables d'après les observations précédemment faites. Le Tableau 8 montre une bonne conservation de classification des mailles, de l'ordre de plus de 80% entre 1996 et 2000 à l'exception de la classe 6 (77%). La même tendance est observée entre 2000 et 2004 avec le Tableau 9, avec une stabilité supérieure à 80% pour les classes 1, 3, 4 et 8 mais surtout aucune classe en dessous des 50% contrairement à la matrice de confusion de la méthode non supervisée (en particulier les classes 1, 2 et 6). Ainsi, entre 2000 et 2004, 61,2% des mailles sont conservées dans la classe 6 avec l'algorithme FT contre seulement 23,3% avec l'algorithme non supervisée (Tableau 6).

L'analyse du Tableau 9 montre que les classes 1 et 2 possèdent un pourcentage de conservation respectivement de l'ordre de 98% et 64,3% pour l'algorithme FT contre 41,4% et 45,4% pour la méthode non supervisée (Tableau 6). Par ailleurs, toujours entre 2000 et 2004, bien qu'une majorité des mailles des classes 5 et 7 est conservée (74% pour la classe 5 et 54,1% pour la classe 7), une proportion importante des contextes périphériques et résidentiels (classes 7 et 5) passent respectivement dans le contexte intermédiaire (classe 3) avec 38,4% et touristique (classe 1) avec 23,3%. Cette observation est confirmée dans la Figure 45 dans la région du Sud Grande-Terre où l'on remarque entre 2000 et 2004 pour la méthode FT un nombre de mailles important qui passe de la classe 5 (orange) à la classe 1 (bleu).

		1996							
2000		1	2	3	4	5	6	7	8
1		97,5	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
2		0,0	80,1	2,9	4,3	1,3	14,0	0,2	5,3
3		0,0	12,8	93,8	4,4	6,4	6,2	13,1	1,7
4		0,0	3,9	1,1	88,1	3,2	2,4	2,1	0,0
5		1,6	0,0	0,0	0,1	81,8	0,1	0,0	0,0
6		0,4	3,2	0,6	2,8	3,8	77,0	1,4	0,9
7		0,5	0,0	1,5	0,2	0,1	0,2	83,0	0,9
8		0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,2	91,2

Tableau 8- Evolution des contextes d'habitation entre 1996 et 2000 avec l'algorithme FT

		2000							
2004		1	2	3	4	5	6	7	8
1		98,0	0,1	0,1	0,1	23,3	1,2	0,4	0,0
2		0,0	64,3	2,1	2,1	0,4	5,4	0,2	0,0
3		0,0	9,2	83,2	3,9	1,6	9,6	38,4	0,0
4		0,0	8,7	5,7	90,3	0,6	12,0	4,0	0,0
5		0,0	1,5	6,7	2,4	74,0	9,1	0,2	1,7
6		0,0	15,8	0,7	0,6	0,0	61,2	2,3	0,0
7		0,7	0,1	1,3	0,6	0,0	0,4	54,1	2,7
8		1,3	0,3	0,2	0,0	0,1	1,1	0,4	95,6

Tableau 9- Evolution des contextes d'habitation entre 2000 et 2004 avec l'algorithme FT

### 3.1.3 Approche « vecteur »

Nous présentons maintenant les résultats issus de la définition des contextes d'habitations grâce à la méthode « vecteur » ; la détermination de ces contextes est effectuée pour l'ensemble des sections de la Guadeloupe.

Le Tableau 10 résume l'évolution du nombre de sections dans chaque classe en 1996, 2000 et 2004. Tout comme à l'échelle de la maille, les classes 2, 3 et 4 sont les plus représentées en termes de nombre de sections classées. Nous observons que les classes 1, 2 et 8 voient leur répartition spatiale s'étendre à des sections nouvelles au cours du temps. A noter que la classe 0 concerne les sections de bord de côte qui ne possèdent pas d'habitations. Par conséquent, elles n'ont pas été considérées.

Classe	1996	2000	2004
0	78	66	66
1	66	62	94
2	161	165	210
3	397	378	293
4	286	285	283
5	123	130	124
6	133	167	159
7	70	53	57
8	35	43	63

**Tableau 10- Nombre de sections par classe en 1996, 2000 et 2004**

La Figure 46 illustre l'obtention des huit classes d'habitation pour les années 1996, 2000 et 2004 par la classification supervisée de l'approche « vecteur ».

Les tendances de la répartition spatiale des contextes observée lors des classifications non supervisées et supervisées avec l'approche raster sont retrouvées avec la classification supervisée à l'échelle des sections. Les contextes urbains (classe 8 en noir) et périurbains (classe 7 en gris) correspondent respectivement aux communes de Basse-Terre et de Pointe-à-Pitre et à leurs périphéries. La classe 1 (en bleu) relative au contexte touristique est présente principalement au sud est de la Grande Terre ainsi qu'au Nord de la Basse-Terre. Quant au contexte résidentiel (classe 5 en orange), il se répartit principalement dans les communes du Gosier, Baie-Mahault, Petit-Bourg et Saint-Claude.

S'agissant des contextes restants, plusieurs éléments notables sont à remarquer. Tout d'abord, le contexte agricole (classe 4 en jaune) est réparti principalement au nord de la Grande Terre et en Basse Terre. D'autre part, les contextes intermédiaires (classe 3 en rose) et ruraux (classe 6 en rouge) ont également une évolution irrégulière de leur répartition spatiale au cours du temps.

Le Tableau 11 présente les résultats des matrices de confusion effectuées pour la classification supervisée à l'échelle des sections avec l'algorithme FT uniquement car permet d'obtenir des résultats plus concluants d'après ce qui avait été déjà observé pour l'approche raster précédemment. La matrice résume les changements de contexte des sections de la Guadeloupe entre 1996 et 2004.

Entre 1996 et 2000 (Tableau 11 a), une majorité de sections conserve en 2000 leur contexte défini en 1996 ce qui constitue un bon résultat. Ainsi d'après le tableau des pourcentages, 80% et plus des sections ne changent pas de contexte durant cette période pour les classes 1, 2, 3, 4, 5 et 8. S'agissant des classes 6 et 7, elles ont un pourcentage respectif de 78% et 62%. En ce qui concerne le pourcentage de transfert d'un contexte à un autre, seules les classes 6, 7 et 8 possèdent un transfert supérieur ou égal à 10%. En effet, 12% des sections passent de la classe 6 à 7, 17% de la classe 7 à 8 et 15% de la classe 8 à 7.

Ensuite durant la période 2000-2004 (Tableau 11 b), les résultats sont plus contrastés avec uniquement la classe 4 conservant plus de 80% de ses sections (88%) entre 2000 et 2004. Six classes se situent entre 54% et 77% de conservation de classe alors que la classe 6 se situe à un niveau bas avec seulement 34% des sections qui ne changent pas de classe alors que ce pourcentage était de 78% entre 1996 et 2000. Les pourcentages de transfert de classe sont par conséquent beaucoup plus élevés qu'entre 1996 et 2000, avec des chiffres supérieurs à 20%. Par exemple, 23% des sections passent de la classe 2 à la classe 6 ou encore 22% de la classe 8 à la classe 7.

Enfin, si l'on analyse ces chiffres sur l'ensemble de la période 1996-2004 (Tableau 11 c), nous constatons que les résultats sont corrects pour les classes 1, 2, 4, 5 et 8 avec une conservation minimale des contextes de 74% des sections. A contrario, les classes 3, 7 et 6 ont des pourcentages faibles avec respectivement 53%, 52% et 30%. Par ailleurs, les transferts de contextes restent importants avec une proportion de 21% pour les classes 1 et 8 par exemple.

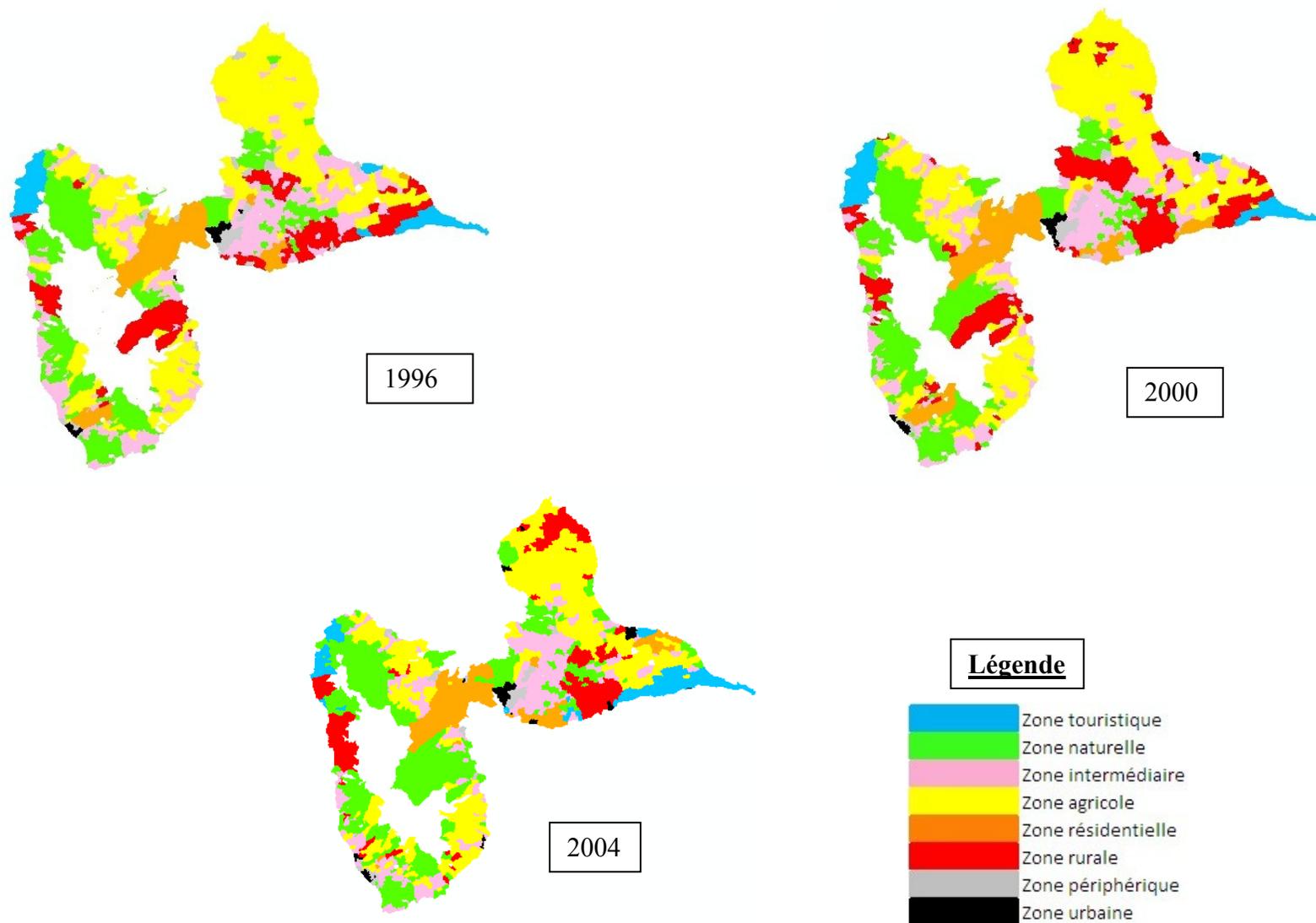


Figure 46- Répartition spatiale des huit contextes d'habitation suivant la classification supervisée avec l'algorithme FT par l'approche vecteur (a, b et c)

1996								
2000	1	2	3	4	5	6	7	8
1	62	0	0	0	1	3	0	0
2	0	135	7	4	1	12	2	0
3	0	16	345	21	0	15	0	0
4	0	5	1	255	3	22	0	0
5	0	0	7	0	116	0	0	0
6	0	5	9	4	9	105	1	0
7	0	0	6	0	0	9	44	11
8	0	0	1	0	0	0	6	28

a1) Nombre de sections entre 1996 et 2000

1996								
2000	1	2	3	4	5	6	7	8
1	93	0	0	0	1	4	0	0
2	0	83	4	2	0	7	1	0
3	0	4	86	5	0	3	0	0
4	0	1	0	89	1	7	0	0
5	0	0	5	0	94	0	0	0
6	0	3	6	3	6	78	0	0
7	0	0	8	0	0	12	62	15
8	0	0	2	0	0	0	17	80

a2) Pourcentage correspondant entre 1996 et 2000

2000								
2004	1	2	3	4	5	6	7	8
1	48	10	0	3	0	0	0	0
2	1	121	13	4	0	18	1	0
3	11	6	205	17	24	80	15	19
4	0	12	2	253	3	13	0	0
5	7	6	18	8	91	0	0	0
6	21	40	30	7	6	57	0	5
7	0	2	4	3	0	0	32	12
8	1	0	1	0	0	0	9	28

b1) Nombre de sections entre 2000 et 2004

2000								
2004	1	2	3	4	5	6	7	8
1	77	16	0	4	0	0	0	0
2	0	73	7	2	0	10	0	0
3	2	1	54	4	6	21	3	5
4	0	4	0	88	1	4	0	0
5	5	4	13	6	70	0	0	0
6	12	23	17	4	3	34	0	2
7	0	3	7	5	0	0	60	22
8	2	0	2	0	0	0	20	65

b2) Pourcentage correspondant entre 2000 et 2004

		1996							
2004	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	52	10	0	3	0	0	0	0	
2	0	129	5	2	0	17	3	0	
3	8	5	213	36	13	92	11	19	
4	0	18	6	237	7	16	0	0	
5	0	5	18	8	92	0	0	0	
6	28	27	20	3	12	41	0	1	
7	1	1	11	4	0	1	37	15	
8	0	0	0	0	0	0	6	29	

c1) Nombre de sections entre 2000 et 2004

		1996							
2004	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	78	15	0	4	0	0	0	0	
2	0	80	3	1	0	10	1	0	
3	2	1	53	9	3	23	2	4	
4	0	6	2	82	2	5	0	0	
5	0	4	14	6	74	0	0	0	
6	21	20	15	2	9	30	0	0	
7	1	1	15	5	0	1	52	21	
8	0	0	0	0	0	0	17	82	

c2) Pourcentage correspondant entre 2000 et 2004

Tableau 11- Evolution des contextes d'habitation entre 1996-2000 (a), 2000-2004 (b) et 1996-2004 (c) de la classification supervisée de l'approche vecteur

---

A partir des données de l'INSEE, nous avons récolté le nombre de logements par commune en Guadeloupe en 1999 et 2008 ; la superficie des différentes communes a également été relevée (Figure 47). La densité de bâtis par commune à ces deux dates ainsi que le pourcentage de nouvelles constructions ont été calculés (Figure 48).

On observe tout d'abord que la densité des bâtis a augmenté dans toutes les communes du département. Il y a eu ainsi augmentation du nombre de logements dans l'ensemble des communes entre 1999 et 2008. Les communes des Abymes et du Gosier sont celles possédant le plus de logements en Guadeloupe en 2008, avec respectivement 28 976 et 14 535. Quant à la densité, les plus fortes valeurs sont observées pour Pointe à Pitre et Basse-Terre avec respectivement 4 009 et 1 033 logements par kilomètre carré en 2008. A l'inverse, les valeurs les plus faibles concernent les communes de Goyave (59 logements/km<sup>2</sup>) et Petit- Canal (54 logements/ km<sup>2</sup>) pour cette même année.

En ce qui concerne le pourcentage de nouvelles constructions entre 1999 et 2008, là encore toutes les communes de la Guadeloupe ont vu leur nombre augmenter. Néanmoins, on remarque que ce sont les communes de Pointe -à-Pitre, de Basse-Terre et des Abymes qui possèdent le plus faible taux de nouvelles constructions avec respectivement 2 % pour la première commune et 7% pour les deux autres. Cette observation est à rapprocher avec les plus fortes densités de bâti présentes pour Pointe-à-Pitre et Basse-Terre notamment. Par conséquent, il y a eu une augmentation ralentie du nombre de nouvelles constructions dans ces deux communes par rapport aux autres. De plus, ces deux communes présentent les plus faibles superficies par rapport aux autres communes, avec 5,78 km<sup>2</sup> pour Basse-Terre et 2,66 km<sup>2</sup> pour Pointe à Pitre. Les communes de Goyave (40%), de Saint-François (29%), Sainte-Anne (25%) et de Sainte-Rose (26%) possèdent en revanche les plus fortes augmentations en nouveaux logements au cours de cette même période.

Communes	Superficie communes (km2)	Nombre logements 1999	Densité bâtis par commune en 1999 ( nombre logements par km2)	Nombre logements 2008	Densité bâtis par commune en 2008 ( nombre logements par km2)
Les Abymes	81,25	26843	330,38	<b>28976</b>	356,63
Anse-Bertrand	60,47	2007	33,19	2412	39,89
Baie-Mahault	46,02	8644	187,83	12142	263,84
Baillif	24,37	2340	96,02	2845	116,74
Basse-Terre	5,78	5540	958,48	5973	<b>1033,39</b>
Bouillante	43,46	3144	72,34	3922	90,24
Capesterre-Belle-Eau	104,31	7708	73,90	8780	84,17
Gourbeyre	23,52	2812	119,56	3678	156,38
Deshaies	32,15	1972	61,34	2388	74,28
Le Gosier	42,2	11620	275,36	<b>14535</b>	344,43
Goyave	60,91	2151	35,31	3597	59,05
Lamentin	65,63	5269	80,28	6762	103,03
Morne-à-l'Eau	63,56	7000	110,13	8099	127,42
Le Moule	82,84	9034	109,05	10693	129,08
Petit-Bourg	130,88	7964	60,85	10137	77,45
Petit-Canal	70,35	3210	45,63	3856	54,81
Pointe-à-Pitre	2,66	10485	3941,73	10666	<b>4009,77</b>
Pointe-Noire	59,71	3290	55,10	3763	63,02
Port-Louis	43,24	2327	53,82	2936	67,90
Saint-Claude	34,27	4163	121,48	4905	143,13
Saint-François	59,82	5763	96,34	8128	135,87
Sainte-Anne	80,29	8843	110,14	11826	147,29
Sainte-Rose	119,65	6835	57,12	9234	77,18
Trois-Rivières	31,22	3297	105,61	4166	133,44
Vieux-Fort	7,24	590	81,49	772	106,63
Vieux-Habitants	58,7	2989	50,92	3741	63,73

Figure 47- Etude de l'évolution des logements par commune en Guadeloupe entre 1999 et 2008

Communes	Nouvelles constructions entre 1999 et 2008	Pourcentage nouvelles constructions (%)
Les Abymes	2133	7
Anse-Bertrand	405	17
Baie-Mahault	3498	<b>29</b>
Baillif	505	18
Basse-Terre	433	7
Bouillante	778	20
Capesterre-Belle-Eau	1072	12
Gourbeyre	866	24
Deshaies	416	17
Le Gosier	2915	20
Goyave	1446	<b>40</b>
Lamentin	1493	22
Morne-à-l'Eau	1099	14
Le Moule	1659	16
Petit-Bourg	2173	21
Petit-Canal	646	17
Pointe-à-Pitre	181	2
Pointe-Noire	473	13
Port-Louis	609	21
Saint-Claude	742	15
Saint-François	2365	<b>29</b>
Sainte-Anne	2983	<b>25</b>
Sainte-Rose	2399	<b>26</b>
Trois-Rivières	869	21
Vieux-Fort	182	24
Vieux-Habitants	752	20

Figure 48- Etude de l'évolution des nouvelles constructions par commune en Guadeloupe entre 1999 et 2008

## 3.2 Analyse épidémiologique des cas de dengue

### 3.2.1 Suivi des cas suspects

La Figure 49 illustre le suivi épidémiologique des cas suspects de dengue par les médecins sentinelles dans les communes de la Guadeloupe continentale selon les périodes de transmission de 2000 à 2008. Les périodes (Per) paires correspondent aux périodes dites épidémiques (PE) et les périodes impaires sont les périodes inter épidémiques (PIE) (Tableau 12).

Périodes	Intervalles temps de suivi
Per1	février 2000- juin 2000
Per2	juillet 2001- janvier 2001
Per3	février 2001- juin 2001
Per4	juillet 2001- janvier 2002
Per5	février 2002- juin 2002
Per6	juillet 2002- janvier 2003
Per7	février 2003- juin 2003
Per8	juillet 2003- janvier 2004
Per9	février 2004- juin 2004
Per10	juillet 2004- janvier 2005
Per11	février 2005- juin 2005
Per12	juillet 2005- janvier 2006
Per13	février 2006- juin 2006
Per14	juillet 2006- janvier 2007
Per15	février 2007- juin 2007
Per16	juillet 2007- janvier 2008

**Tableau 12- Intervalles du temps de suivi d'après les périodes de transmission de la dengue**

Le suivi épidémiologique des cas suspects de la dengue en Guadeloupe continentale montre deux tendances principales :

-De février 2000 à janvier 2004 (périodes 1 à 8) où le suivi de la majorité des communes est irrégulier avec des périodes de suivi oscillant entre 0 et 100%. Ainsi, si l'on considère les communes de Petit-Canal et des Abymes, entre la période 1 et 8, il y a respectivement cinq périodes (2 à 6) et six périodes (1 et 3 à 7) qui ont un pourcentage de suivi compris entre 0 et 25%.

-De février 2004 à janvier 2008 (période 9 à 16), un changement important est remarqué, avec une amélioration importante du taux de suivi des cas suspects de dengue dans la quasi-totalité des communes (entre 75 et 100%). Le suivi des cas suspects par les médecins sentinelles est plus régulier qu'entre 2000 et 2004 à l'exception de Vieux-Habitants avec un suivi compris entre 0 et 50% entre juillet 2005 et janvier 2008 (période 12 à 16). Au final, vingt communes sur vingt six bénéficient ainsi d'une meilleure surveillance des cas suspects avec une bonne perspective pour le futur.

Le suivi de Petit-Canal et de Port-Louis a été abandonné alors que les communes de Bouillante, Gourbeyre et Lamentin ne possédaient pas de médecins sentinelles entre 2000 et début 2008 même si cela a changé depuis avec l'installation de médecin dans ces régions (voir Figure 16).

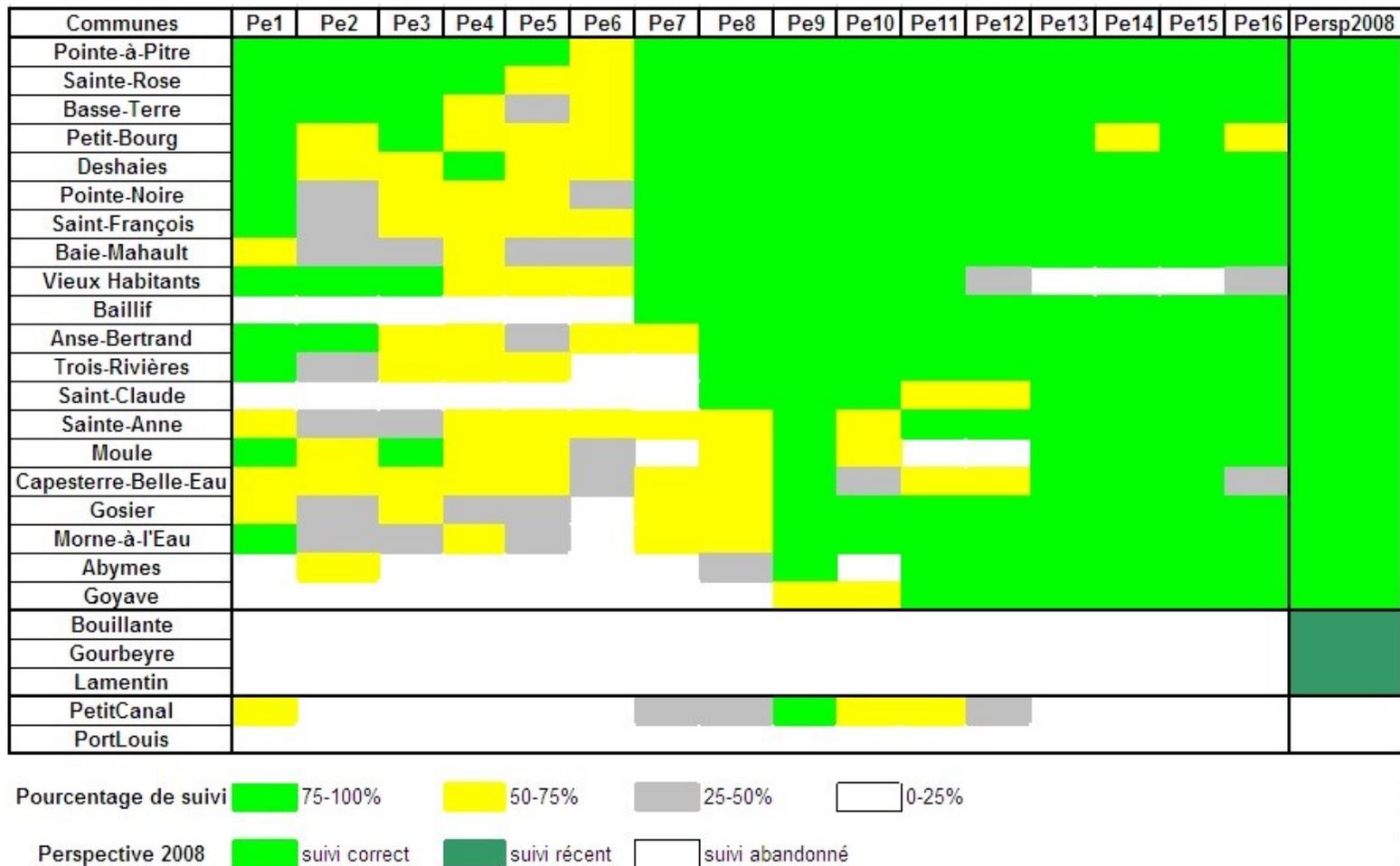
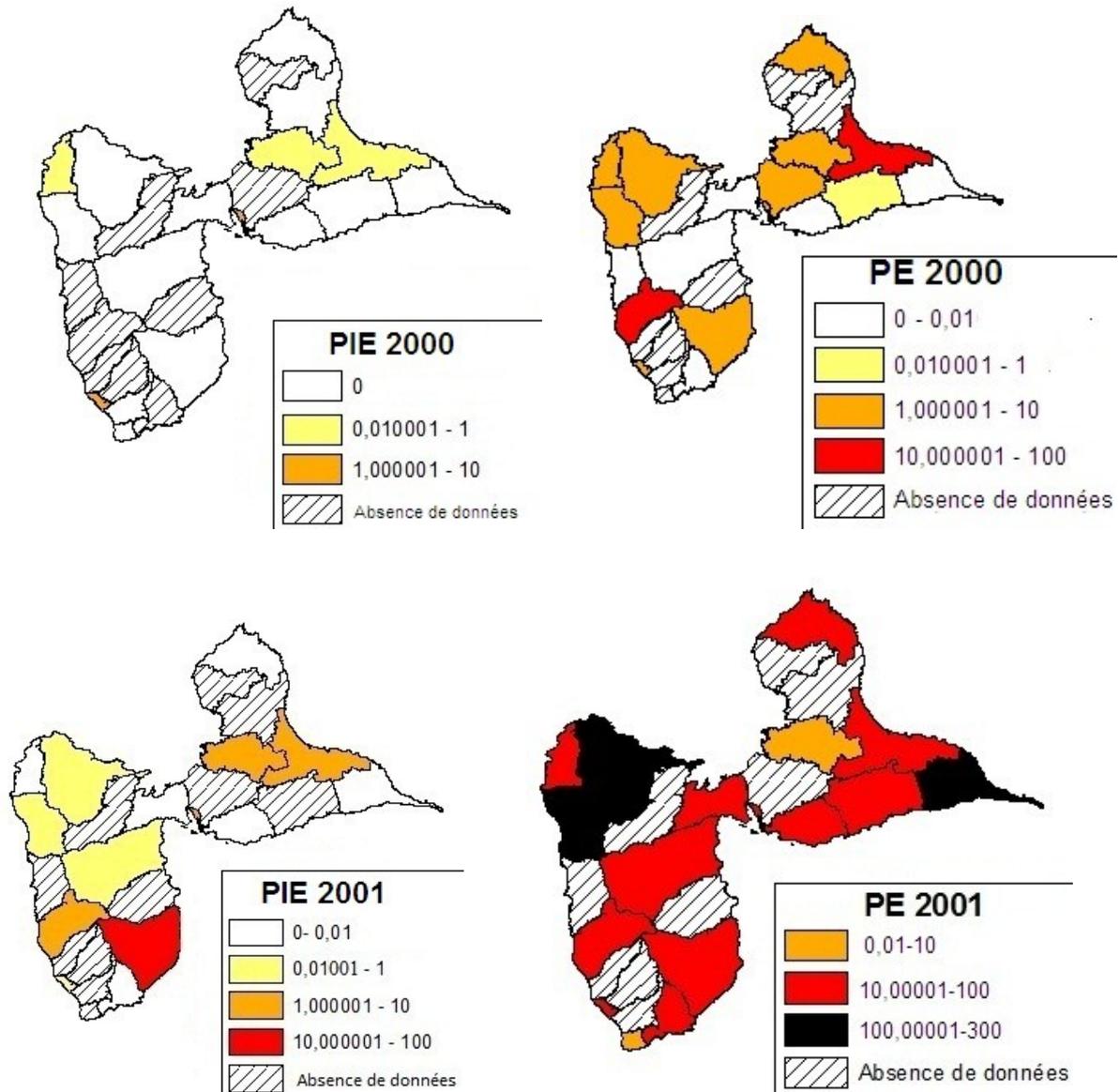


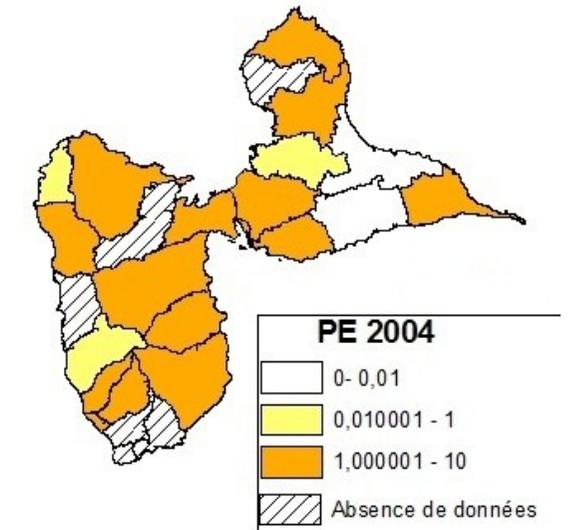
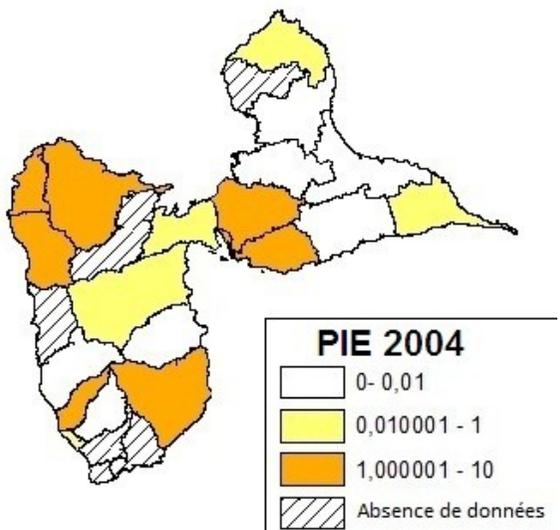
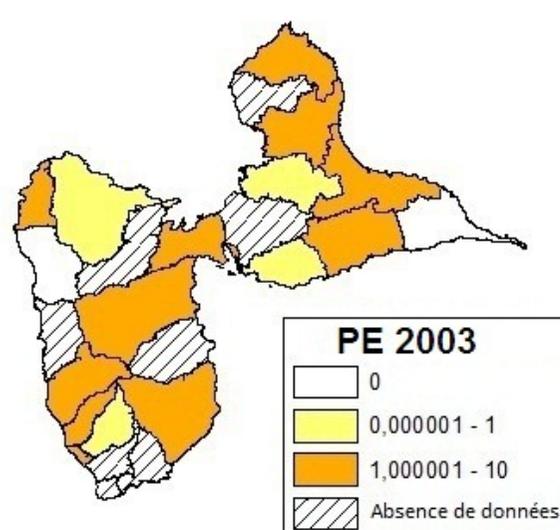
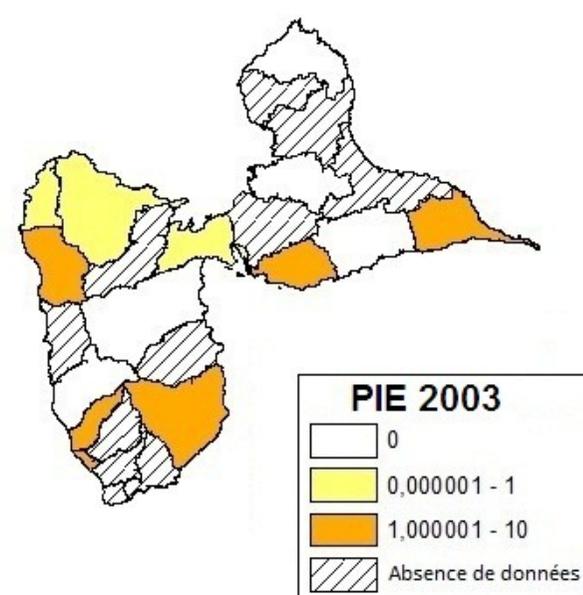
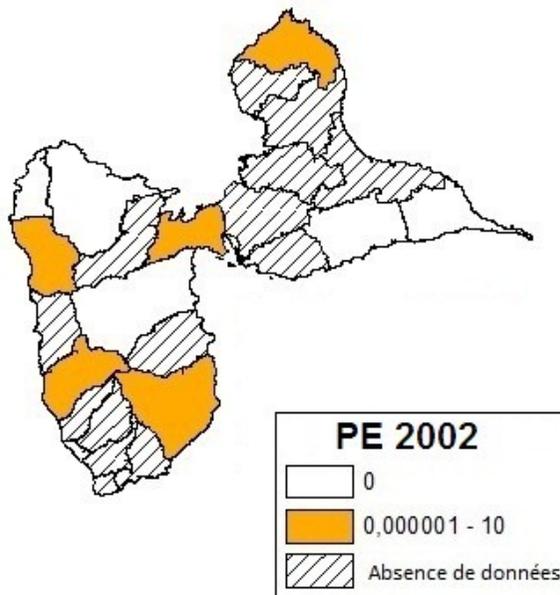
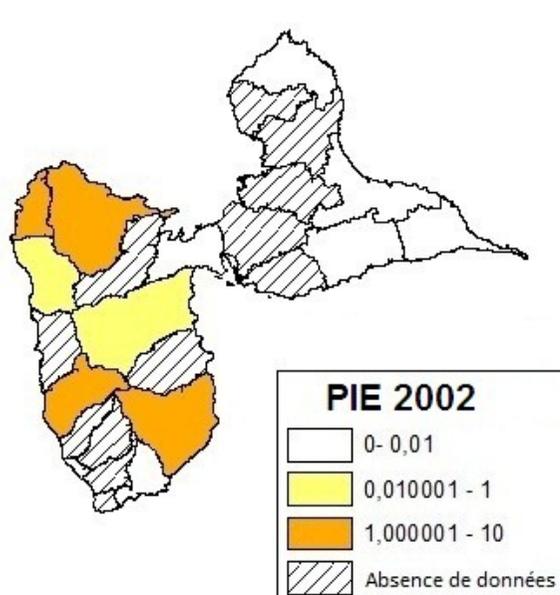
Figure 49- Suivi épidémiologique de la dengue par les médecins sentinelles dans les communes de la Guadeloupe continentale selon les périodes de transmission de 2000 à 2008

### 3.2.2 Incidence des cas suspects de dengue

#### 3.2.2.1 Incidence des cas suspects par commune

La Figure 50 montre l'incidence pour 1 000 habitants des cas suspects par commune selon les périodes de transmission de la maladie (épidémiques et inter épidémiques).





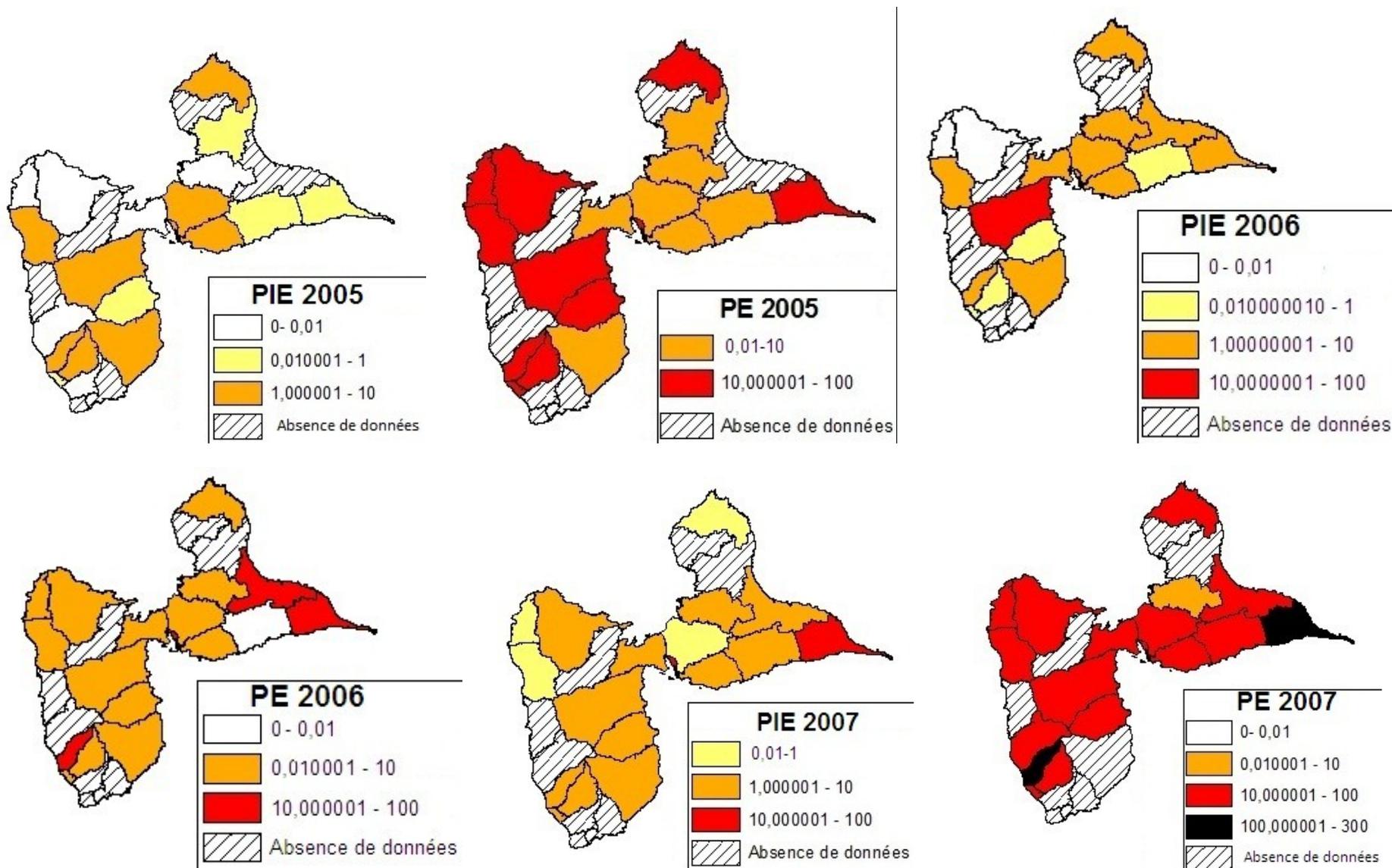


Figure 50- Incidence pour 1000 habitants des Cas Suspects de 2000 à 2008 par commune selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE)

Les périodes épidémiques connaissent des valeurs d'incidence beaucoup plus élevées que les périodes inter épidémiques pour une grande majorité des communes. Ainsi, lors de l'année 2001, trois communes (Pointe-Noire, Sainte-Rose et Saint-François) possèdent une incidence de 100 à 300 cas suspects pour 1 000 habitants en période épidémique alors qu'il y en a aucune lors de la période inter épidémique.

D'une manière générale, lors des périodes épidémiques des années 2001, 2005/2006 et 2007, il y a une augmentation sensible et quasi généralisée de l'incidence dans les périodes épidémiques. La distribution spatiale de l'incidence est hétérogène. Certaines régions sont exposées régulièrement avec des incidences allant jusqu'à 300 cas pour 1 000 habitants pour les plus touchées : c'est le cas de la région sud est de la Grande-Terre (Saint-François, Moule, Sainte-Anne) ainsi que le nord Basse-Terre (Sainte Rose).

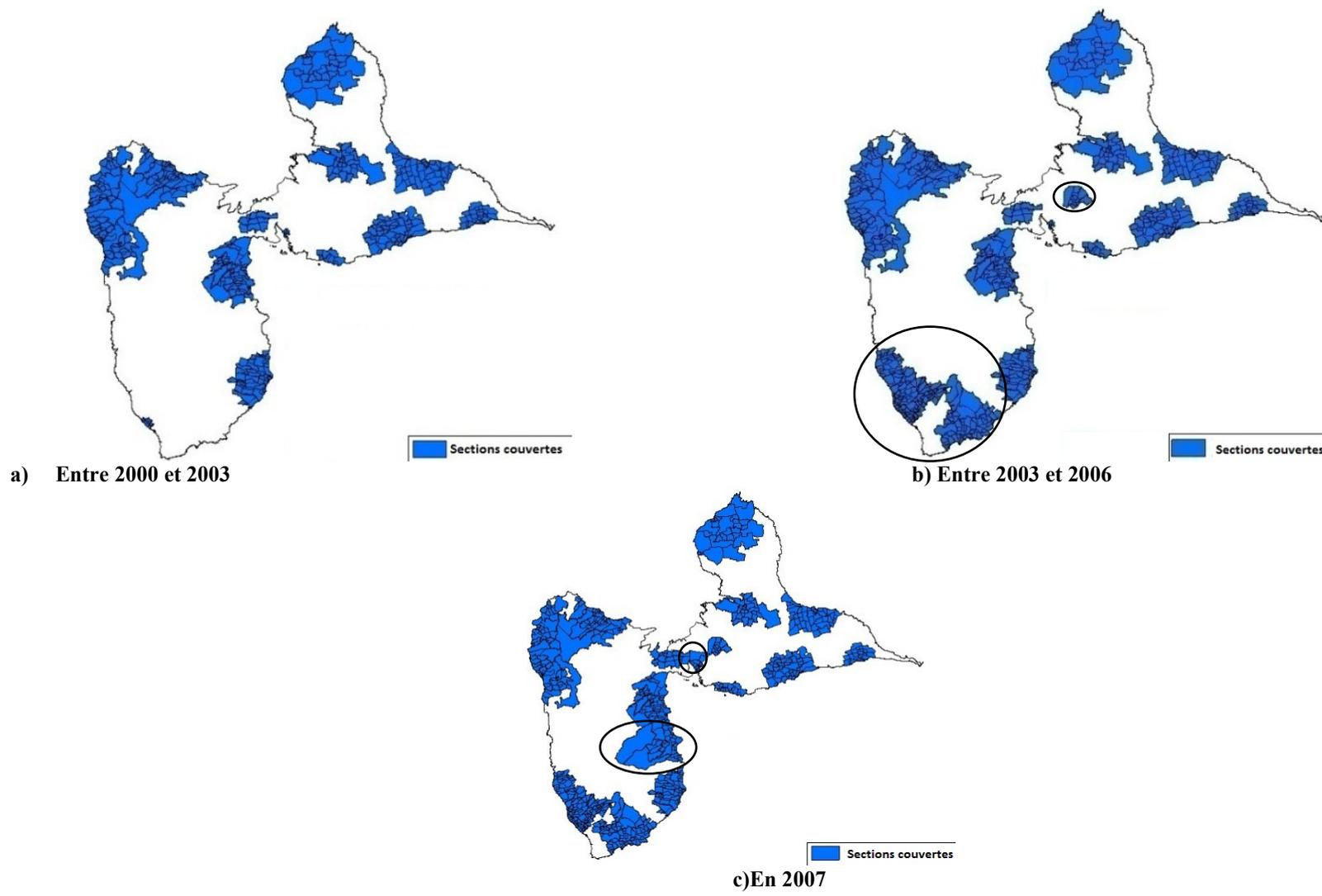
*A contrario*, les années 2000, 2002, 2003 et 2004 connaissent des incidences de cas suspects moins élevées avec des valeurs maximales de 10 cas pour 1 000 habitants excepté la période épidémique de 2000 et la période inter-épidémique de 2001. Le nord Grande Terre et le sud Basse-Terre sont moins concernés par la maladie avec une incidence faible, caractéristique de peu ou pas de cas d'incidence durant ces années.

A la fin de la période d'étude, les valeurs d'incidence observées durant les périodes inter-épidémiques sont très proches de ceux des périodes épidémiques. Ce n'est pas le cas entre 2000 et 2004, où l'incidence est très différente selon le niveau de transmission. Cette évolution n'est pas liée à une baisse de l'incidence des périodes épidémiques à la fin de la période d'étude. En effet, les plus fortes valeurs d'incidence sont observées en 2006 et 2007, où quatorze communes présentent des incidences de l'ordre de 10 à 100 cas pour 1 000 habitants et deux communes au-delà de 100 cas pour 1 000 habitants pour l'année 2007.

Il faut également noter que selon les périodes de transmission de la maladie, certaines communes n'ont pas de valeur d'incidence. L'absence de médecins sentinelles dans le nord Grande-Terre dont les communes de Petit-Canal et de Port-Louis a pour conséquence une absence de tendance de la maladie concernant les cas suspects dans ces communes ; l'incidence ne peut donc pas être calculée. L'absence fréquente de médecins sentinelles dans certaines communes selon les périodes de transmission conduit à une non prise en compte des données. En effet, lorsque les médecins étaient absents plus de dix semaines sur l'ensemble de la période de transmission, l'incidence n'était pas calculée pour la période de transmission en question.

### 3.2.2.2 Incidence des cas suspects par section

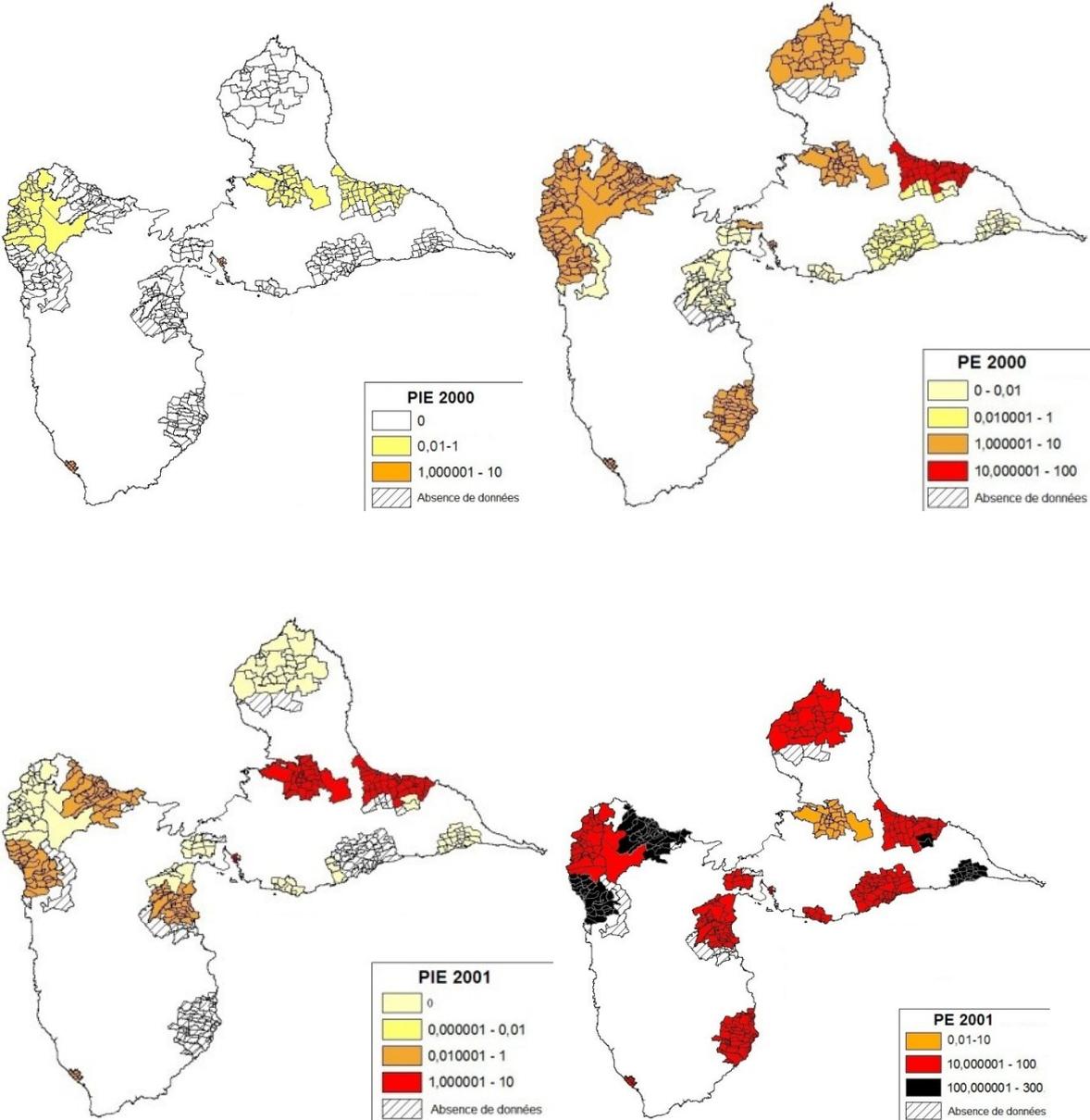
La Figure 51 illustre l'évolution spatiale en termes de couverture de la surveillance des cas suspects par le réseau des médecins sentinelles entre 2000 et 2008. La couverture est faite à l'échelle des sections grâce à l'utilisation de zones tampon autour de chaque cabinet médical. On remarque une amélioration de cette couverture au cours du temps avec l'observation de trois tendances principales : 2000-2003, 2003-2006 et 2007. Une extension géographique de cette surveillance est observée sur l'ensemble du territoire, couvrant de nouvelles sections des communes du centre Grande-Terre (Abymes) et sud Basse-Terre (Goyave, Vieux-Habitants, Trois-Rivières) en particulier.

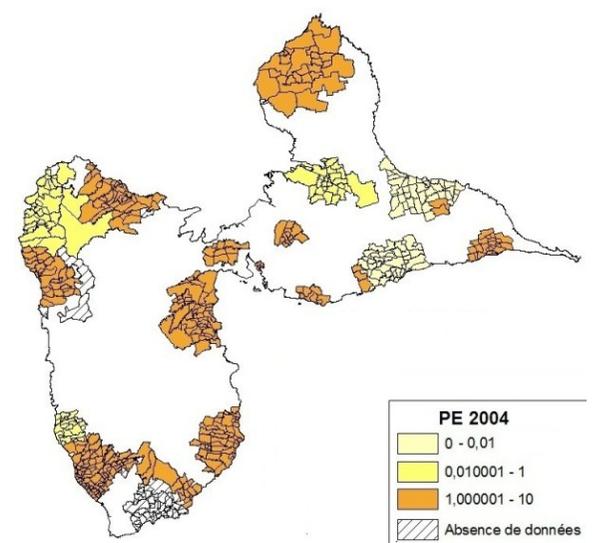
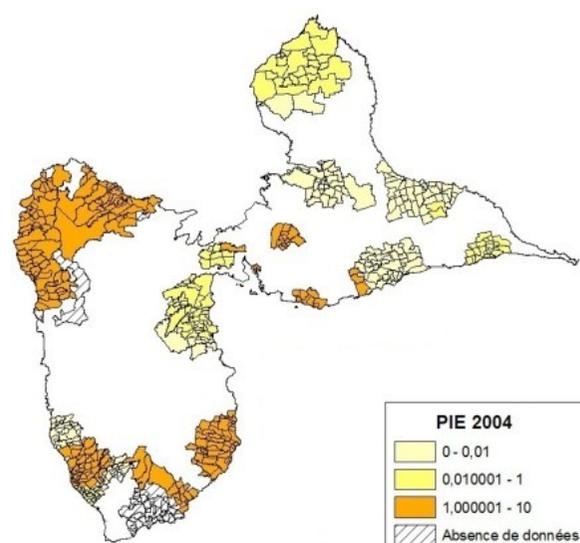
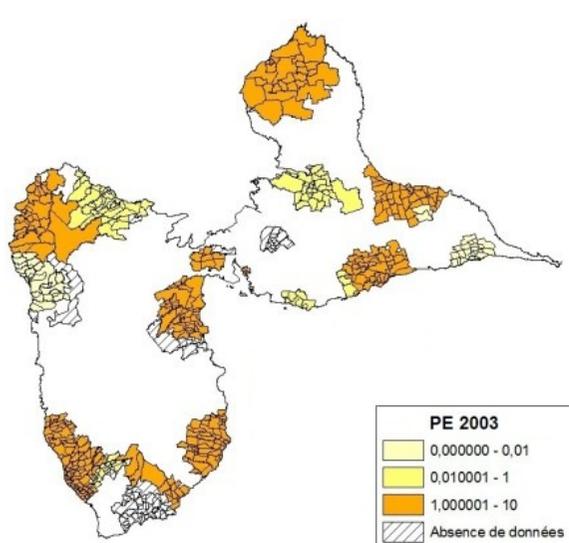
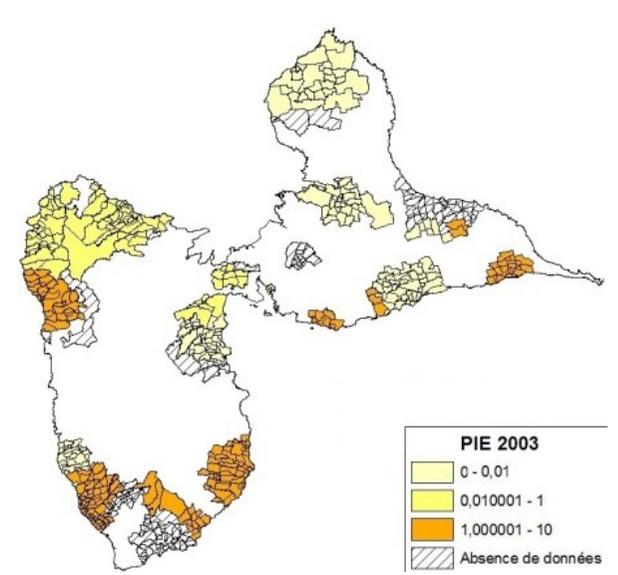
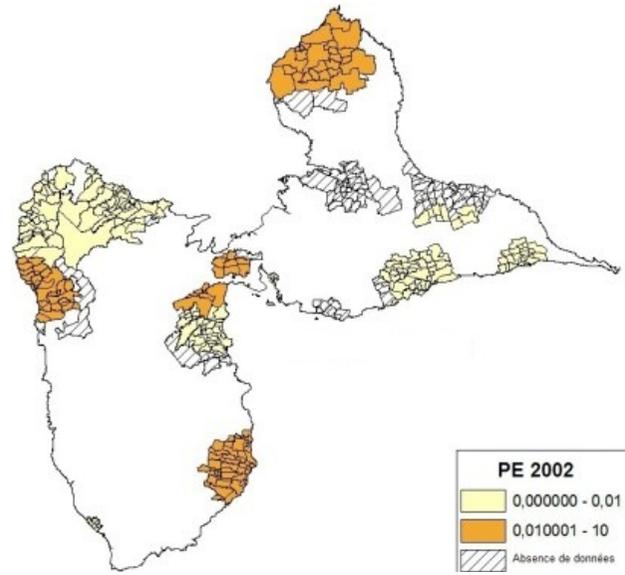
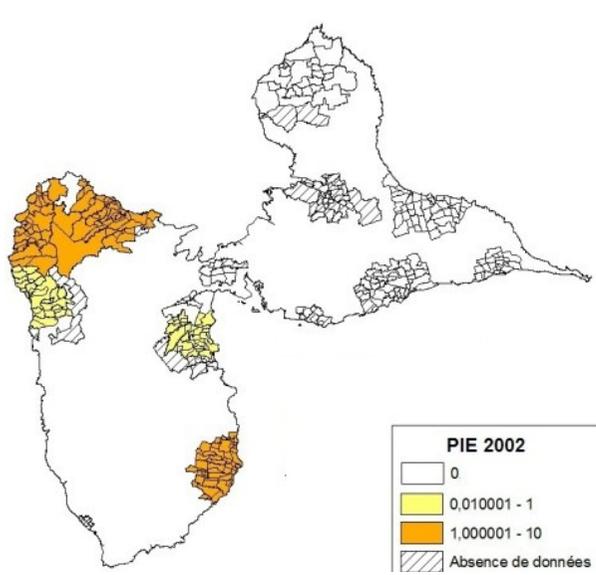


○ Apparition de sections couvertes par les médecins sentinelles pendant la période étudiée

Figure 51- Evolution spatiale du suivi des médecins sentinelles entre 2000 et 2008 (a, b et c)

La Figure 52 présente l'incidence pour 1000 habitants des cas suspects de dengue à l'échelle géographique des sections, toujours selon les deux périodes de transmission de la maladie.





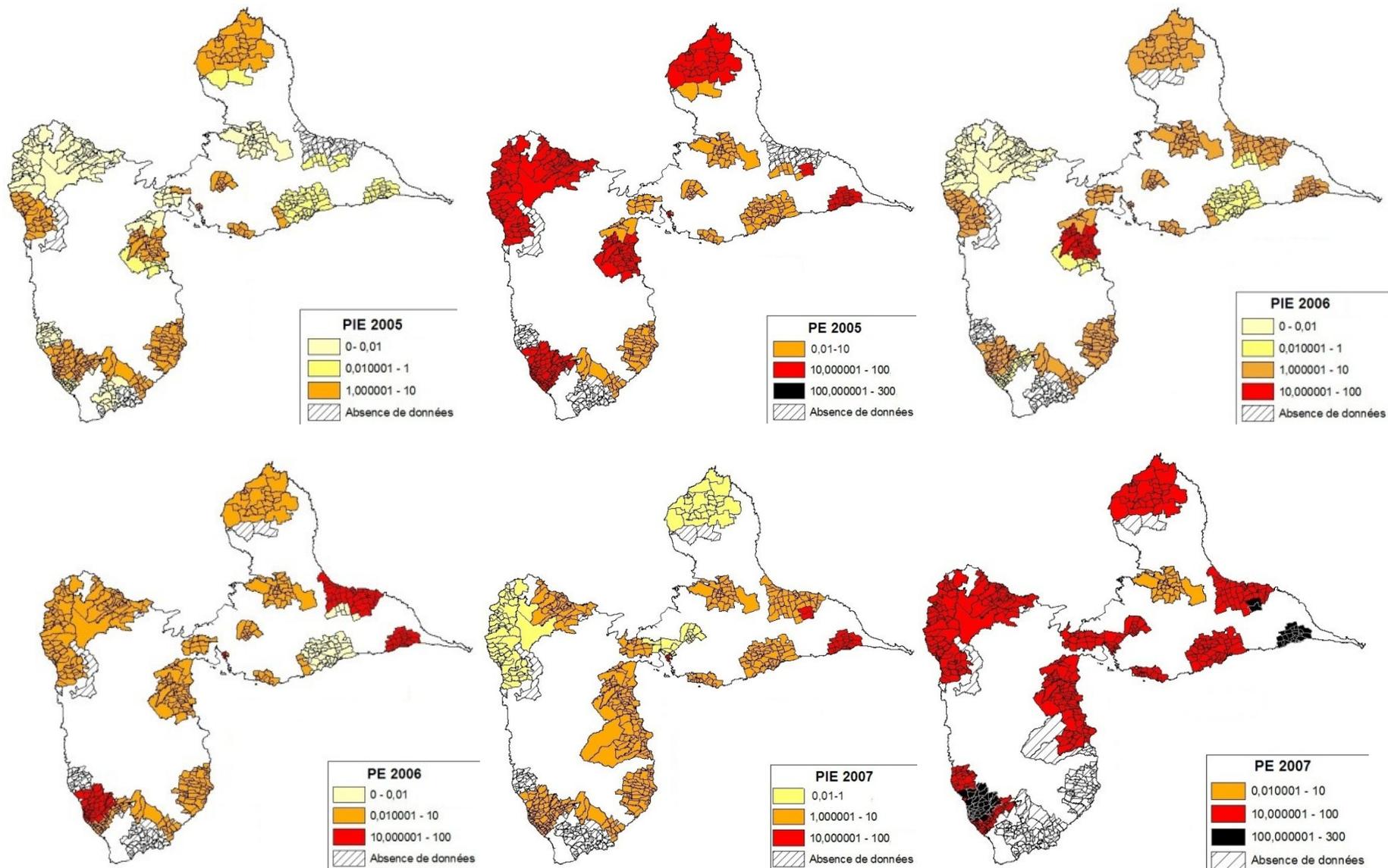


Figure 52- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Suspects de 2000 à 2008 par section selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE)

Les incidences des cas suspects observés à l'échelle des communes ont été croisées avec les sections. L'activité des médecins sentinelles par le biais de l'analyse par zone tampon (Figure 22) a permis de définir les sections concernées par la surveillance des cas suspects dans chaque commune du territoire. La localisation géographique des sections concernées est ainsi mieux ciblée dans chaque commune. Les mêmes classes d'incidence que celle des communes sont trouvées, mais avec une définition de l'incidence meilleure et plus précise.

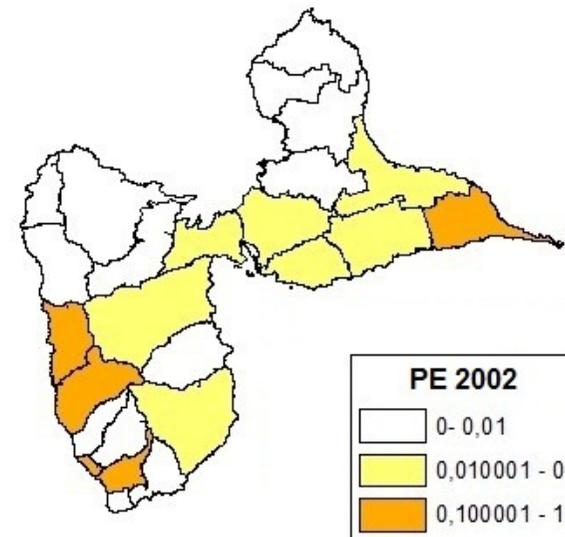
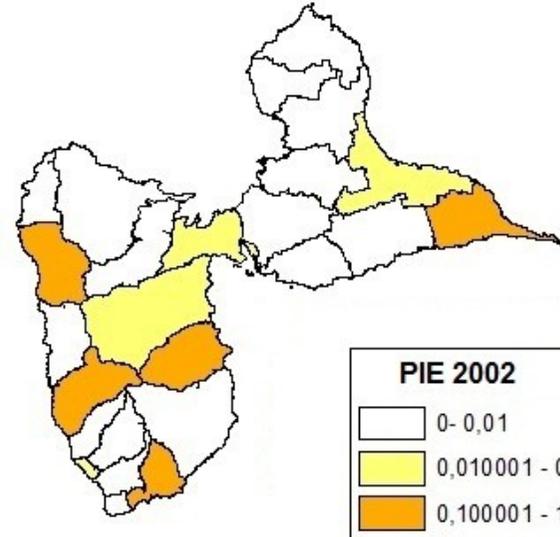
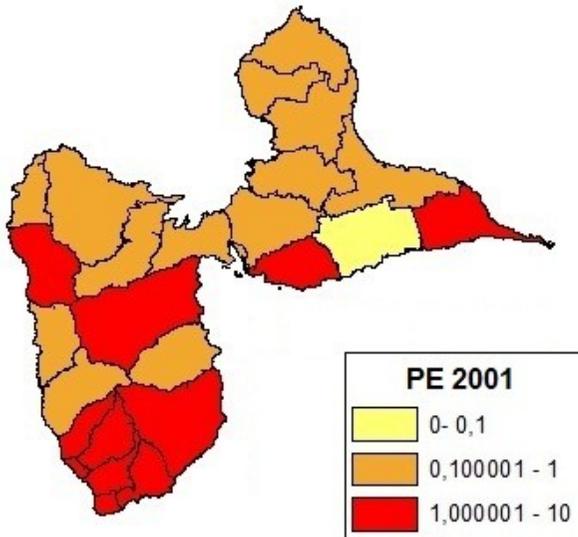
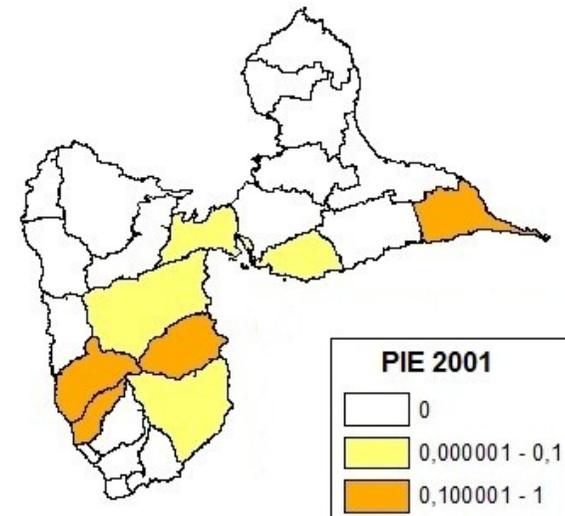
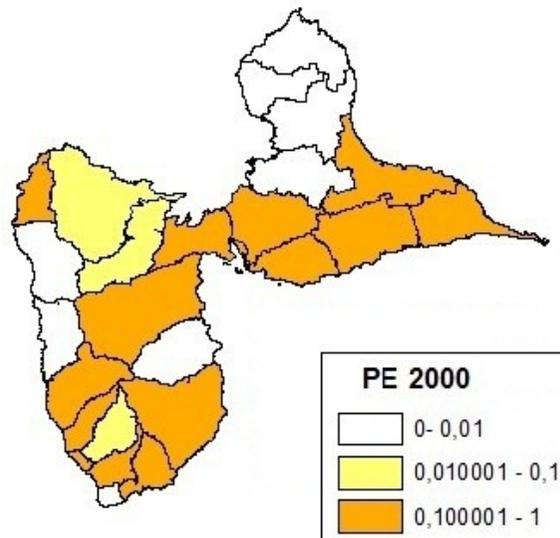
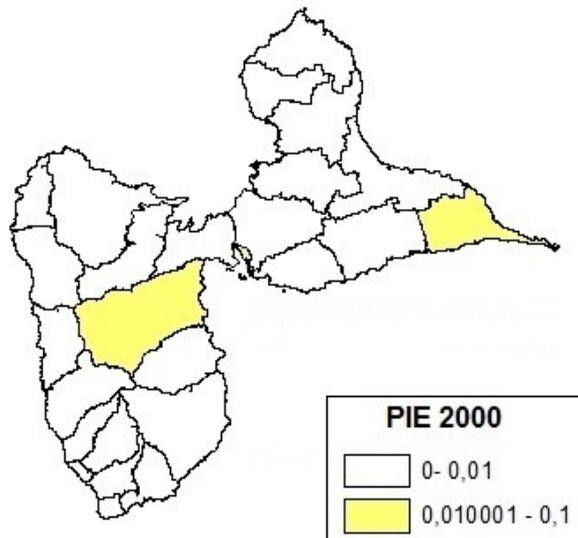
Les périodes épidémiques des années 2001, 2005/2006 et 2007 montrent les valeurs d'incidence les plus élevées sur l'ensemble de la période étudiée. La même tendance épidémiologique est ainsi observée qu'à l'échelle de la section. La région du sud-est de la Grande-Terre et du nord Basse-Terre sont particulièrement concernées par les valeurs d'incidence élevées. Ainsi, les sections couvertes par l'activité des médecins sentinelles dans les communes de Saint-François, Moule, Sainte-Rose entre autres, ont les valeurs d'incidence les plus élevées observées en 2001 et 2007 (jusqu'à 300 cas pour 1 000 habitants) durant l'ensemble de la période étudiée. A l'inverse, le nord Grande Terre et l'ouest de la Basse-Terre sont moins concernés par la maladie avec une incidence faible (jusqu'à 10 cas pour 1 000 habitants excepté la période épidémique de 2000) durant les années 2000, 2002, 2003 et 2004. Tout comme ce qui a été observé pour les communes, les valeurs d'incidence des cas suspects entre les deux périodes de transmission définies à l'échelle des sections se sont rapprochées au cours du temps, particulièrement lors des années 2005/2006 et 2007.

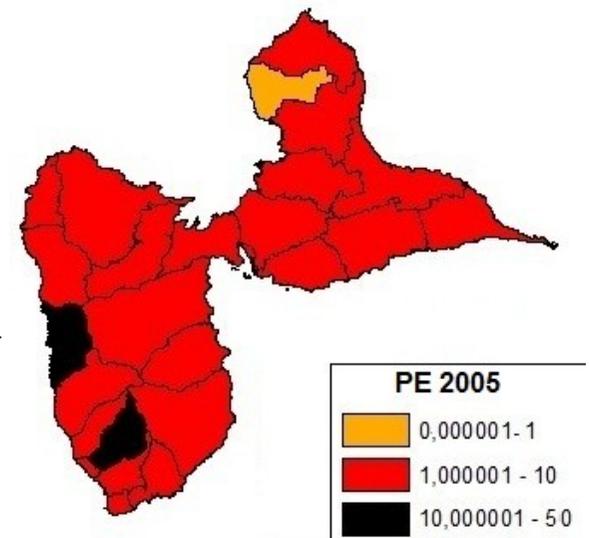
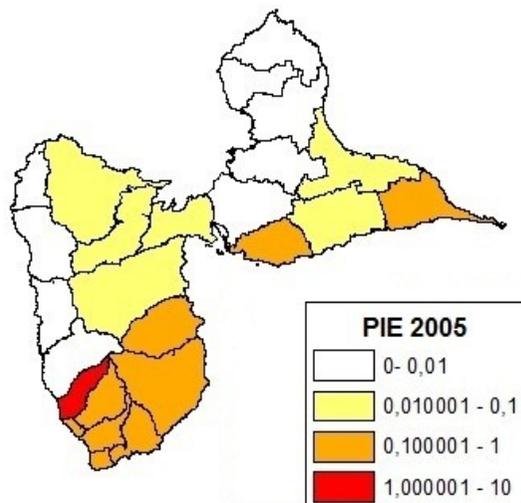
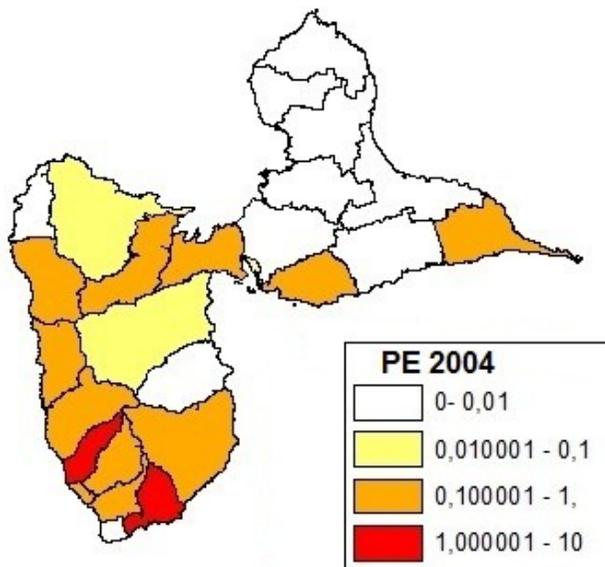
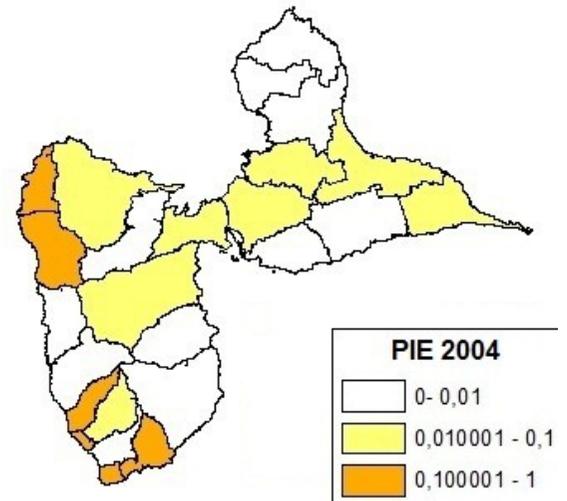
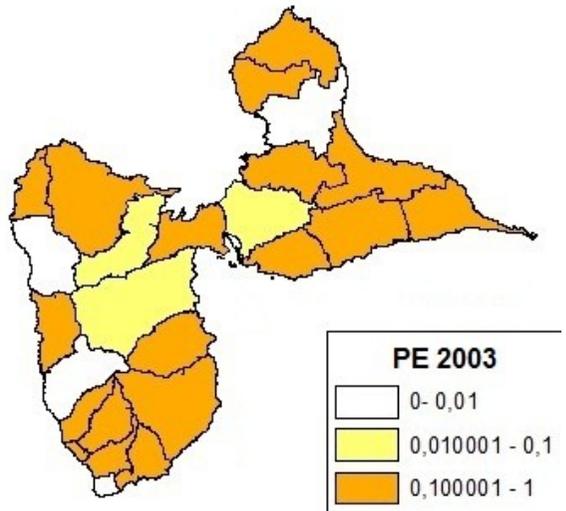
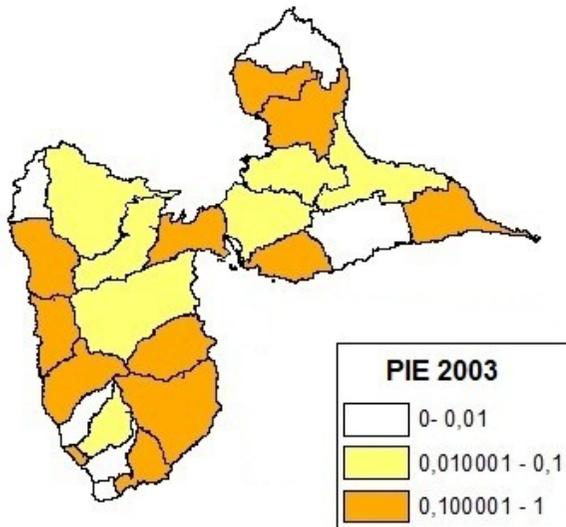
En outre, selon l'année d'étude, certaines sections ne possèdent pas de valeurs d'incidence car ne sont pas couvertes ou ne sont pas suivies régulièrement par les médecins sentinelles à l'échelle des communes, en particulier à Petit-Canal et Port-louis situées dans le nord Grande-Terre.

### 3.2.3 Incidence des cas confirmés de dengue en Guadeloupe continentale entre 2000 et 2008

#### 3.2.3.1 Incidence des cas confirmés par commune

La Figure 53 illustre l'incidence pour 1 000 habitants des cas confirmés par commune selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE) de 2000 à 2008.





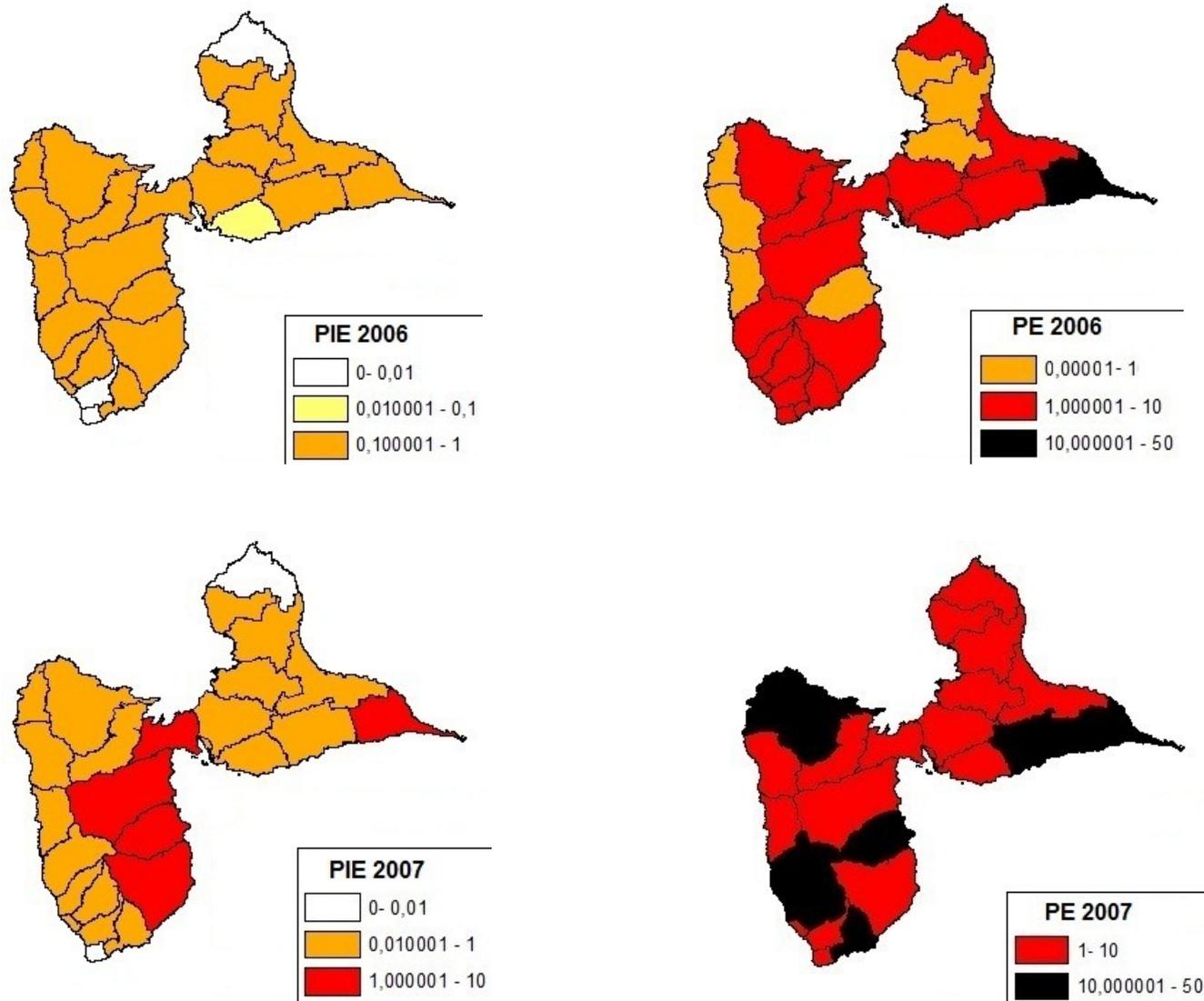


Figure 53- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Confirmés de 2000 à 2008 par commune selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE)

Les plus fortes valeurs d'incidence de cas confirmés ayant touché la Guadeloupe durant les années 2001, 2005/2006 et 2007 sont constatées, toute comme les observations faites précédemment pour les cas suspects (Figure 50). La région du sud-est de la Grande-Terre (Sainte-Anne, Sainte-François) ainsi que la Basse-Terre (Sainte-Rose, Capesterre-Belle-Eau) sont les régions les plus touchées de l'île avec des incidences de cas confirmés élevées (jusqu'à 10 à 50 cas pour 1 000 habitants) lors des périodes épidémiques de 2005/2006 et 2007. Quant aux autres années de la période d'étude, à savoir 2000, 2002, 2003 et 2004, le nord Grande-Terre (Petit-Canal, Port-Louis et Anse-Bertrand) et l'ouest de la Basse-Terre (Bouillante, Pointe-Noire) constituent les régions les moins affectées par la maladie, avec des valeurs maximales d'incidence atteignant 1 cas pour 1 000 habitants (excepté la période épidémique de 2004) durant ces années.

Les valeurs d'incidence des cas confirmés sont également de plus en plus proches entre les deux périodes de transmission au fur et à mesure que l'on se rapproche de la fin de notre période d'étude 2000-2008. Ainsi, pour l'année 2007 pour la période épidémique, nous avons seize communes avec une incidence comprise entre 1 et 10 cas confirmés pour 1 000 habitants alors que pour la période inter épidémique de la même année, cinq communes connaissent la même valeur d'incidence. A l'inverse, le niveau de transmission est différent entre les périodes épidémiques et inter-épidémiques des années 2000 à 2004. Cette évolution n'est pas liée à une baisse de l'incidence des périodes épidémiques à la fin de la période d'étude. En effet, une incidence comprise entre 10 et 50 cas pour 1 000 habitants est répertorié dans dix communes en 2007.

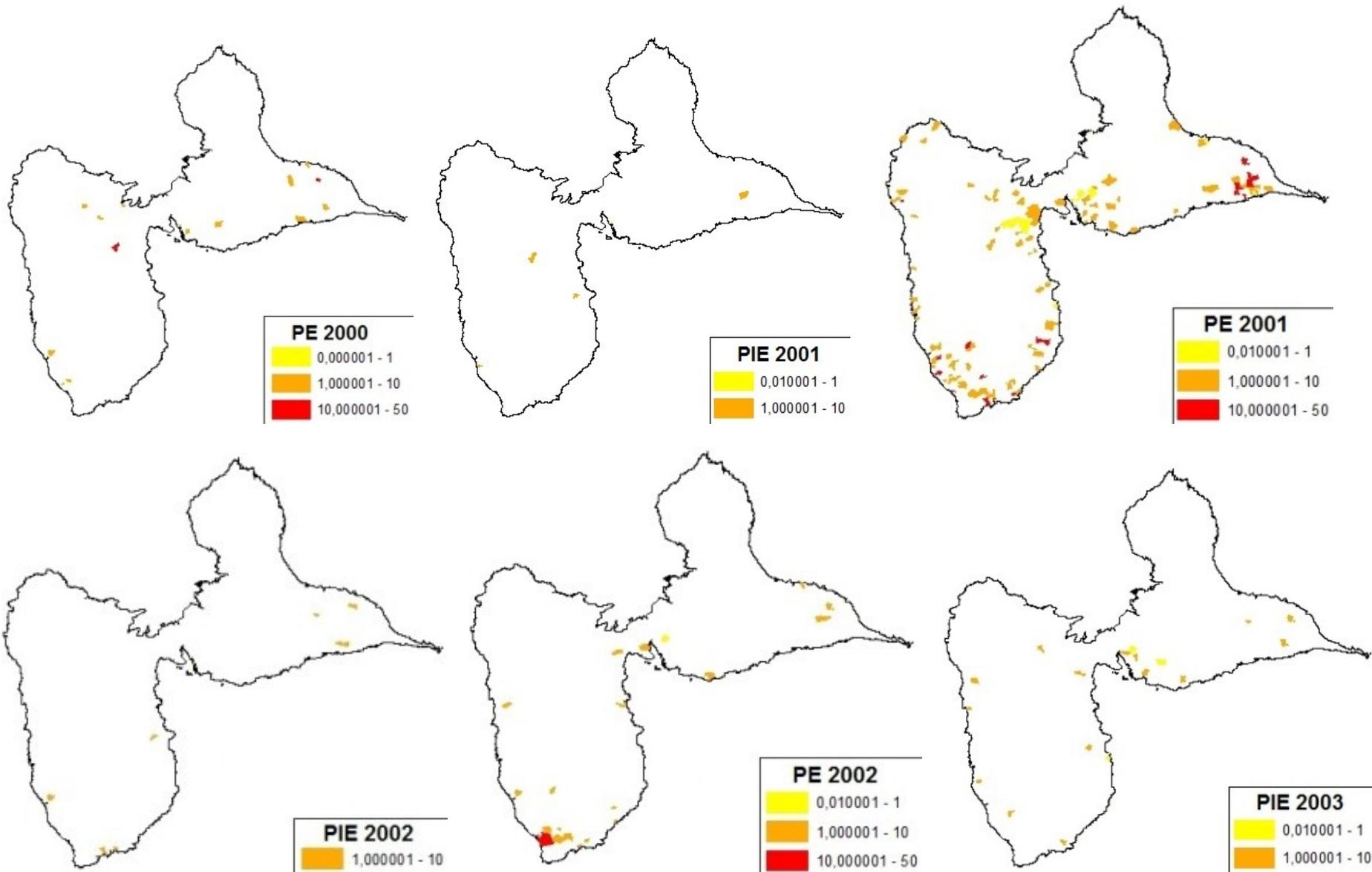
### 3.2.3.2 Incidence par section

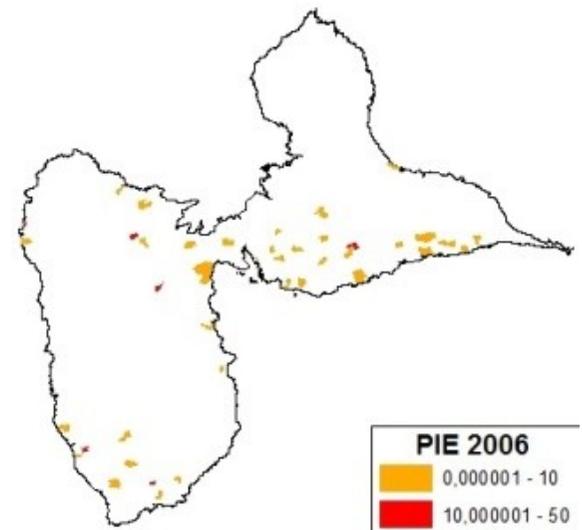
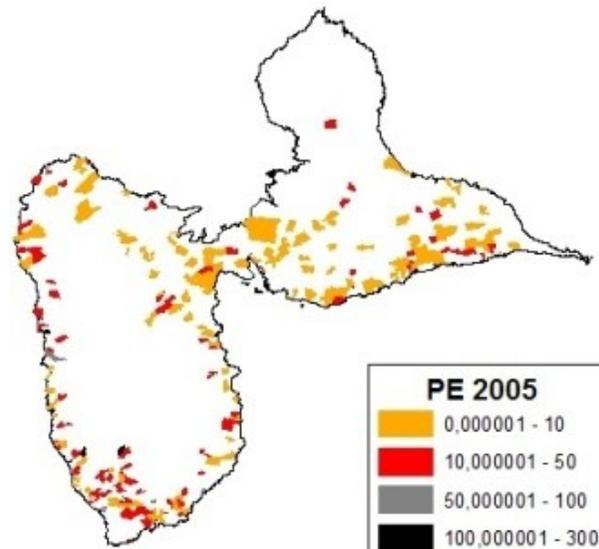
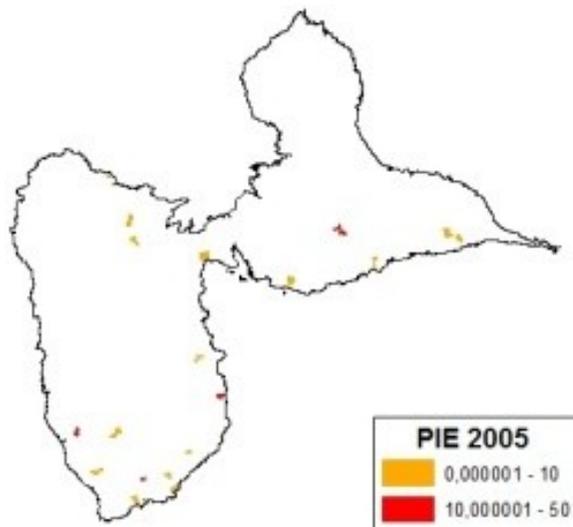
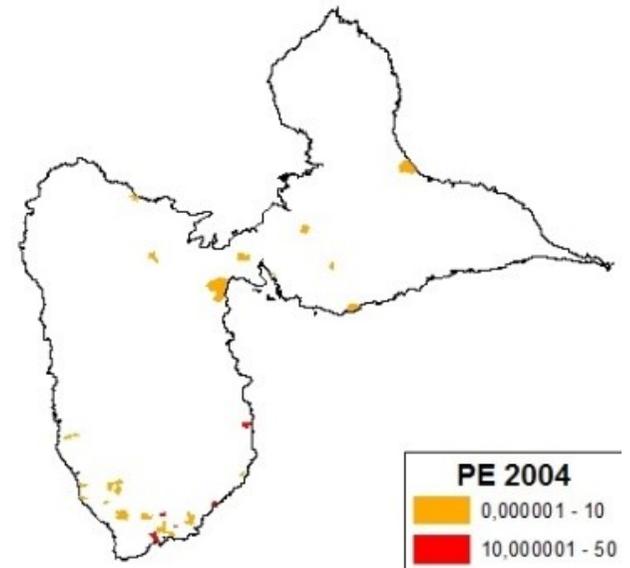
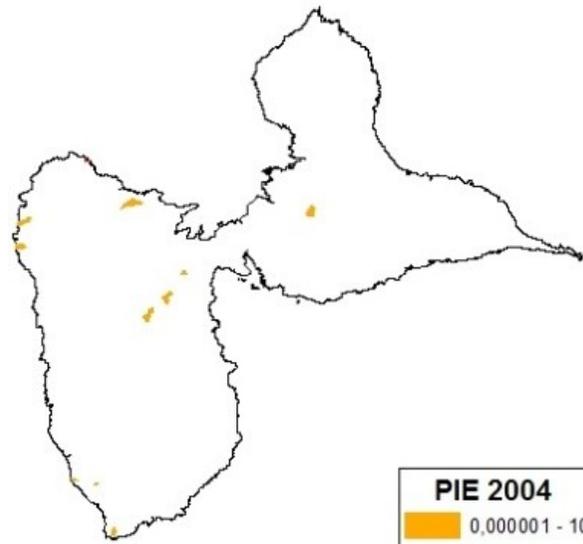
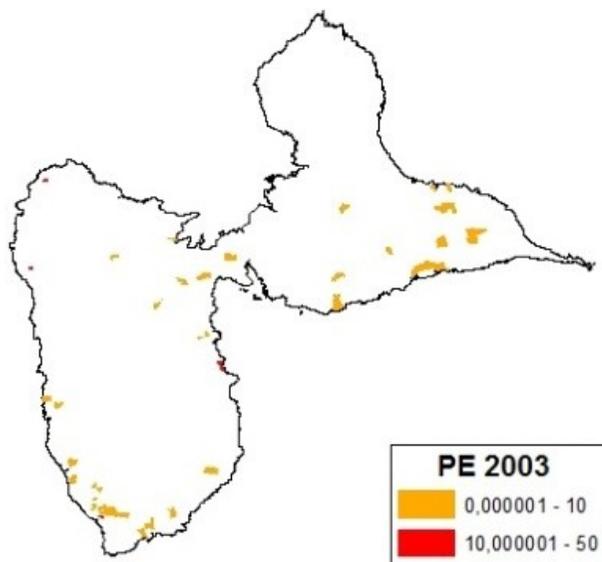
La Figure 54 montre l'incidence pour 1 000 habitants des cas confirmés par sections selon les périodes épidémiques et inter-épidémiques. L'analyse de l'incidence des cas confirmés à l'échelle des sections met en exergue les zones du sud Grande-Terre (de Gosier à Saint-François), la région Pointoise et la Basse-Terre avec des valeurs d'incidences élevées définies, particulièrement lors des périodes épidémiques des années 2001, 2005/2006 et 2007. Durant ces années, l'incidence atteint 10 à 50 cas pour 1 000 habitants. A l'inverse, durant les périodes de transmission des années 2000, 2002, 2003 et 2004, les régions du nord Grande-Terre et l'ouest de la Basse-Terre ont un faible taux d'incidence (jusqu'à 10 cas pour 1 000 habitants), avec peu de sections où sont reportées des valeurs d'incidence.

Par ailleurs, les valeurs d'incidence des cas confirmés observées durant les périodes inter-épidémiques sont proches de celles constatées au cours des périodes épidémiques. Cette observation est valable pour les années récentes de l'étude (2005/2006 et 2007) alors que de 2000 à 2004, les différences d'incidence entre les périodes de transmission sont bien marquées. Cette tendance est observée aux deux échelles géographiques d'étude.

L'incidence des cas confirmés a été calculée pour les sections des communes de la Guadeloupe. Les données des cas confirmés ont permis de définir les incidences à l'échelle directe des sections sans estimation contrairement aux cas suspects. En effet, la fiche de renseignements des patients confirmés de la dengue notifie le domicile du malade.

Le manque et/ ou l'absence de données pour les cas confirmés a conduit à présenter des régions du département sans valeurs, en particulier le nord Grande-Terre avec les communes de Petit-Canal et Port-Louis possédant les plus faibles taux d'incidence de cas confirmés de dengue. A noter également que la période inter-épidémique de 2000 est absente car nous n'avons pas pu répertorier de cas confirmés durant cette période, ce qui nous aurait permis de définir une incidence.





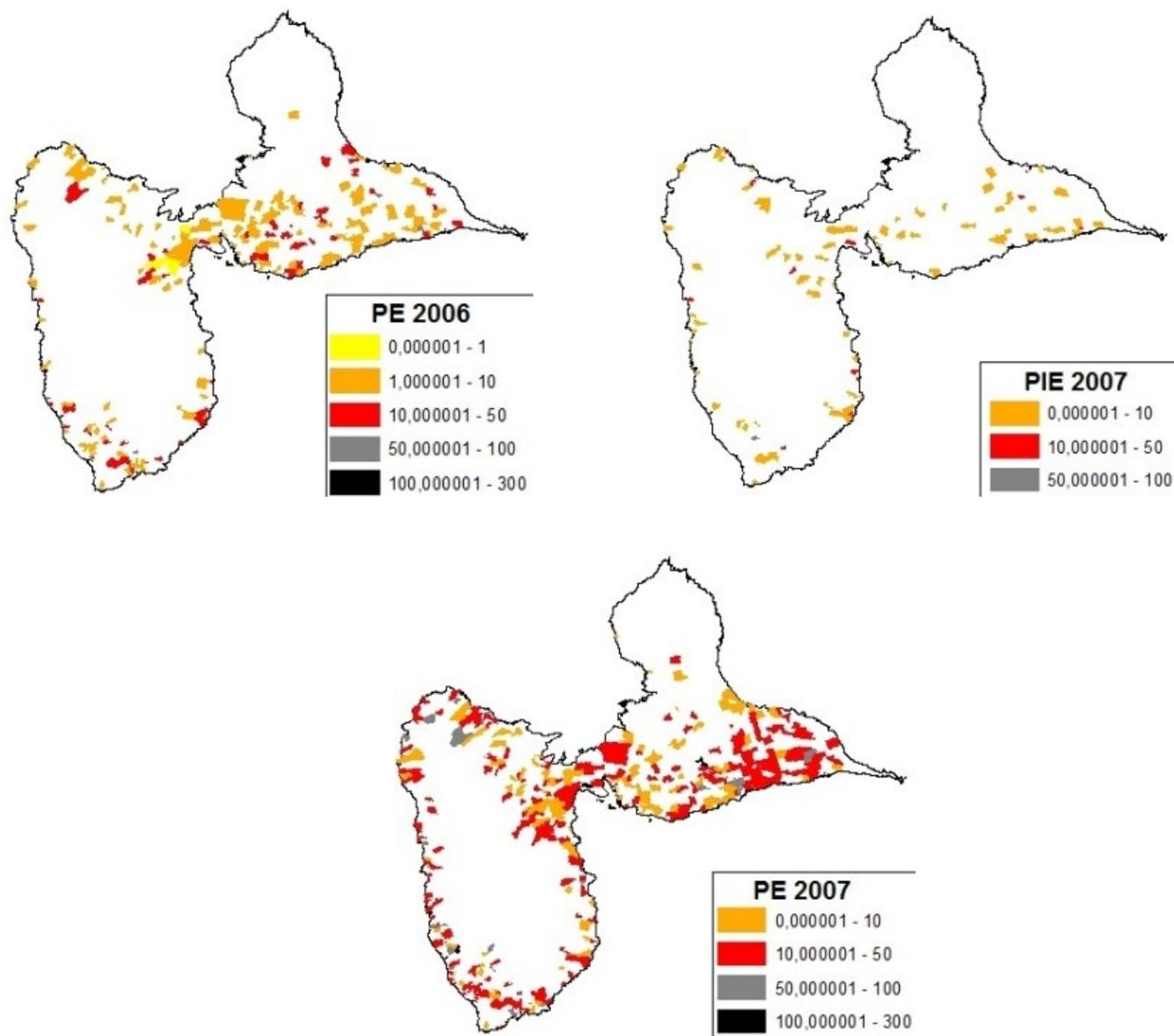


Figure 54- Incidence pour 1 000 habitants des Cas Confirmés de 2000 à 2008 par section selon les périodes épidémiques (PE) et inter épidémiques (PIE)

### 3.3 Influence des contextes d'habitations sur les incidences de cas confirmés observées

Les Tableaux 13 et 14 résument les moyennes des incidences des cas confirmés de 2000 à 2008 en fonction des huit contextes d'habitations définis auparavant. Ces moyennes ont été définies selon deux périodes : 2000-2003 et 2004-2007.

Plusieurs observations sont faites :

- De 2000 à 2003 (Tableau 13), les moyennes sont moins élevées par période (0 à 0,52 cas) et par classe (0,04 à 0,17 cas) que de 2004 à 2007 (Tableau 14) avec des valeurs comprises entre 0,04 et 7,95 cas pour la moyenne par période et entre 0,64 et 3,07 cas pour la moyenne par contexte.
- Si l'on focalise sur cette période 2004-2007 (Tableau 14), les moyennes les plus importantes relevées sont lors des périodes épidémiques de 2005 et 2007 avec respectivement 3,46 et 7,95 cas pour 1 000 habitants.
- Concernant les classes, ce sont les contextes urbains (classe 8) avec 3,07 cas et touristiques (classe 1) avec 2,85 cas qui possèdent les moyennes les plus élevées. A l'opposé, les moyennes les plus faibles sont retrouvées chez les contextes naturels (classe 2) et agricoles (classe 4) avec respectivement 0,82 et 0,64 cas.

Les Tableaux 15 et 16 illustrent les valeurs maximales de ces incidences de cas confirmés de 2000 à 2008 selon les contextes d'habitations définis en Guadeloupe. On remarque que :

- Les mêmes tendances sont observées que pour les moyennes, à savoir des valeurs plus importantes lors de la période 2004-2007 (Tableau 16). En effet, les valeurs maximales par période vont de 0,98 à 15,38 cas de 2000-2003 (Tableau 15) et de 16,67 à 244,90 cas pour 1 000 habitants pour la période 2004-2007.
- Lorsqu'on compare les incidences observées par contexte, de 2000 à 2003 les valeurs s'étalent de 5,73 à 24,79 cas et de 95,24 à 244,90 cas lors de la période 2004- 2007.

Classe/Moyenne incidence par période	MoyInc2000a	MoyInc2000b	MoyInc2001a	MoyInc2001b	MoyInc2002a	MoyInc2002b	MoyInc2003a	MoyInc2003b	Moyenne incidence par classe
1	0,00	0,05	0,00	0,72	0,00	0,05	0,00	0,30	0,14
2	0,00	0,00	0,00	0,29	0,01	0,14	0,00	0,07	0,06
3	0,00	0,06	0,02	0,41	0,08	0,05	0,09	0,15	0,11
4	0,00	0,02	0,00	0,25	0,01	0,01	0,00	0,03	0,04
5	0,00	0,14	0,01	0,42	0,00	0,06	0,05	0,26	0,12
6	0,01	0,02	0,02	1,02	0,02	0,08	0,08	0,14	0,17
7	0,00	0,05	0,00	0,77	0,00	0,00	0,02	0,08	0,11
8	0,02	0,13	0,02	0,25	0,02	0,01	0,03	0,02	0,06
<b>Moyenne incidence par période</b>	0,00	0,06	0,01	0,52	0,02	0,05	0,03	0,13	

Tableau 13 - Moyenne des incidences des cas confirmés de 2000 à 2003 selon les huit contextes d'habitations\*

Classe/ Moyenne incidence	MoyInc2004a	MoyInc2004b	MoyInc2005a	MoyInc2005b	MoyInc2006a	MoyInc2006b	MoyInc2007a	MoyInc2007b	Moyenne par classe
1	0,06	0,00	0,12	3,29	0,30	2,77	0,64	15,65	2,85
2	0,00	0,09	0,12	1,84	0,06	0,68	0,30	3,48	0,82
3	0,11	0,35	0,26	4,03	0,25	2,38	0,64	8,07	2,01
4	0,01	0,07	0,03	1,07	0,15	0,59	0,26	2,92	0,64
5	0,12	0,08	0,02	2,04	0,20	1,91	0,58	7,90	1,61
6	0,02	0,01	0,05	4,71	0,16	1,22	0,54	6,39	1,64
7	0,00	0,00	0,13	4,64	0,10	2,80	0,25	6,59	1,81
8	0,00	0,33	0,14	6,04	0,41	3,45	1,61	12,60	3,07
<b>Moyenne par période</b>	0,04	0,12	0,11	3,46	0,20	1,97	0,60	7,95	

Tableau 14- Moyenne des incidences des cas confirmés de 2004 à 2007 selon les huit contextes d'habitations\*

\***a** correspond à la période inter-épidémique, **b** à la période épidémique quel que soit les années considérées

Classe/Valeur maximale incidence par période	MaxInc2000a	MaxInc2000b	MaxInc2001a	MaxInc2001b	MaxInc2002a	MaxInc2002b	MaxInc2003a	MaxInc2003b	Maximum incidence par classe
1	0,00	3,18	0,00	24,79	0,00	3,15	0,00	15,38	24,79
2	0,00	0,00	0,00	18,18	2,25	10,99	0,00	6,17	18,18
3	0,00	14,29	3,86	16,53	14,71	5,35	8,93	11,11	16,53
4	0,00	5,85	0,00	23,26	2,94	3,10	0,00	4,57	23,26
5	0,00	10,10	1,62	9,05	0,00	3,27	2,82	5,35	10,10
6	0,98	3,00	2,70	30,77	2,79	7,41	6,41	13,07	30,77
7	0,00	2,51	0,00	28,17	0,00	0,00	1,01	2,29	28,17
8	0,79	3,17	0,82	5,73	0,85	0,37	1,11	0,77	5,73
Maximum incidence par période	0,98	14,29	3,86	30,77	14,71	10,99	8,93	15,38	

Tableau 15- Valeur maximale des incidences des cas confirmés de 2000 à 2003 selon les huit contextes d'habitations\*

Classe/ Valeur maximale incidence par période	MaxInc2004a	MaxInc2004b	MaxInc2005a	MaxInc2005b	MaxInc2006a	MaxInc2006b	MaxInc2007a	MaxInc2007b	Valeur maximale par classe
1	5,05	0,00	6,67	41,38	13,61	51,09	12,35	172,41	172,41
2	0,00	12,45	15,63	166,67	4,81	31,01	57,47	119,40	166,67
3	16,67	21,51	27,52	110,09	21,28	95,74	21,16	216,22	216,22
4	2,66	10,64	10,20	53,19	17,24	32,79	10,31	95,24	95,24
5	10,00	5,24	1,87	40,94	10,93	21,88	15,87	158,73	158,73
6	2,53	2,36	4,65	116,88	11,24	62,50	37,50	76,92	116,88
7	0,00	0,00	7,41	225,81	2,81	111,11	7,04	203,13	225,81
8	0,00	9,09	9,17	150,94	9,80	100,00	61,22	244,90	244,90
Valeur maximale par période	16,67	21,51	27,52	225,81	21,28	111,11	61,22	244,90	

Tableau 16- Valeur maximale des incidences des cas confirmés de 2004 à 2007 selon les huit contextes d'habitations\*

\*a correspond à la période inter-épidémique, b à la période épidémique quel que soit les années considérées.

Le Tableau 17 illustre le test d'ANOVA effectué sur la période 2000-2008 afin de tester si l'incidence des cas confirmés de dengue observés à l'échelle des sections est corrélée avec les contextes d'habitation définis. Les sections classées de manière identique entre 1996 et 2004 d'une part et les sections ayant changé de classe une fois durant la même période d'autre part sont testées. L'évolution de la couverture des médecins sentinelles entre 2000 et 2008 (Figure 51) est prise en compte afin de considérer les zones sans cas. La P-value est déterminée avec une erreur de 5% afin de vérifier l'hypothèse nulle  $H_0$  que les contextes d'habitations n'ont pas d'influence sur les incidences observées entre 2000 et 2008.

Nous observons tout d'abord un nombre de sections stables majoritaire (822) sur le total de sections classées par la méthode vecteur (1 349), ce qui constitue une proportion correcte (61%). Les sections avec un seul changement de classification entre 1996 et 2004 représentent 403 sections sur les 1 349 totaux soit 30%. Les 9% de sections restantes soit 124 sections constituent les sections instables avec plusieurs changements de classification et n'ont pas été pris en compte dans le test d'ANOVA. La colonne 'Effectif section finale' correspond à l'évolution du nombre de sections couvertes par le suivi des médecins sentinelles au cours des trois périodes d'étude. Nous remarquons qu'il y a une augmentation du nombre de sections surveillées que ce soit pour les sections stables ou les sections changeant de classe. Cette progression est à rapprocher avec une extension de la couverture du territoire par les médecins sentinelles entre 2000 et 2007.

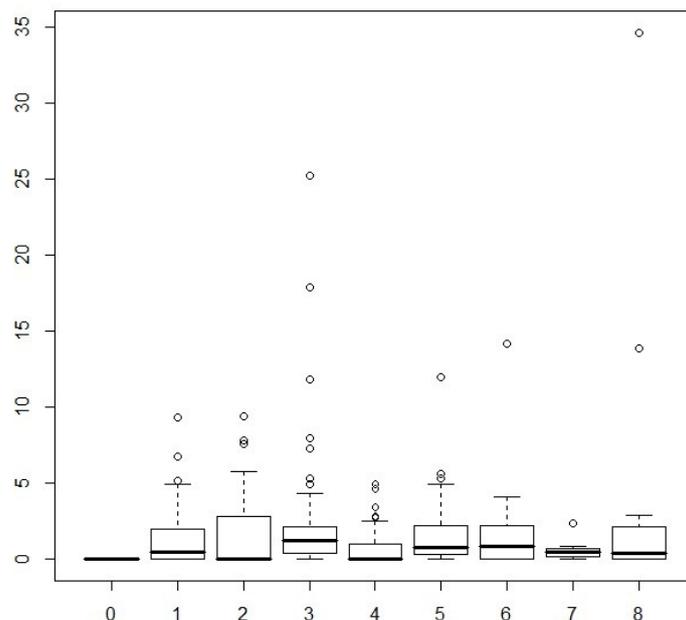
Le calcul de la P-value a été faite selon trois périodes : 2000-2003, 2003-2006 et 2000-2007. Celles ci correspondent aux changements de couverture des médecins sentinelles (Figure 51) avec l'installation de médecins dans de nouvelles communes au cours du temps, il y a eu donc une progression de cette zone de couverture.

Concernant les sections stables, on constate que la P-value pour les trois périodes est inférieurs à 0,05 avec un risque d'erreur à 5%. Elle est respectivement de 0,00434 ; 0,00122 et 0,000913 pour les périodes 2000-2003, 2003-2006 et 2000-2007. Quant aux sections avec changement de classe, la P-value est inférieure à 0,05 pour les périodes 2000-2003 et 2003-2006 avec des valeurs respectives de 0,000417 et 0,00472. Néanmoins, pour l'ensemble de la période 2000-2007, la P-value est de 0,0102, donc supérieur à 0,05. L'hypothèse nulle  $H_0$  est donc rejetée avec un risque faible d'erreur pour l'ensemble des périodes étudiées exceptées cette période 2000-2007 pour les sections changeant de classe. Il y a une influence significative des contextes d'habitation sur les incidences de dengue observées en Guadeloupe entre 2000 et 2008.

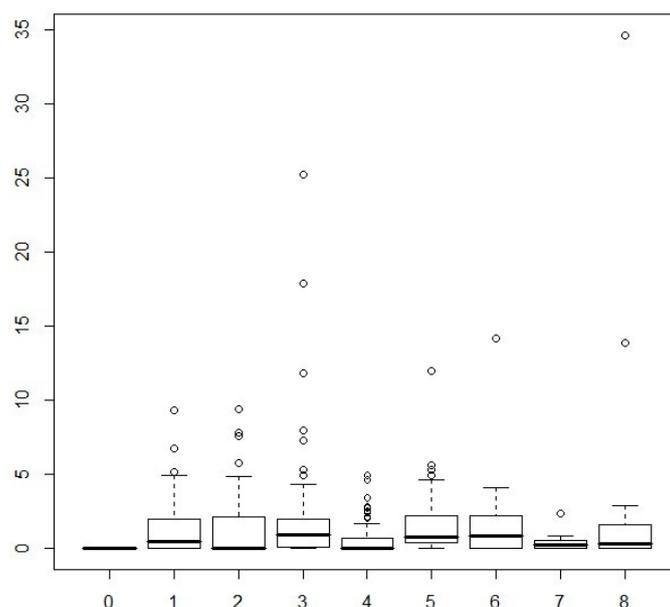
Sections stables				
Période/ Effectif et p-value	Sections totales classées	Sections stables totales	Effectif section finale	P-value
2000-2003	1349	822	403	0,00434
2003-2006	1349	822	462	0,00122
2000-2007	1349	822	465	0,000913
Sections avec changement de classe				
Période/ Effectif et p-value	Sections totales classées	Sections totales avec changement de classe	Effectif section finale	P-value
2000-2003	1349	403	215	0,000417
2003-2006	1349	403	243	0,00472
2000-2007	1349	403	252	0,0102

**Tableau 17- Détermination de la P-value selon les périodes de couverture des médecins et l'effectif des sections stables/avec changement de classe entre 1996 et 2004**

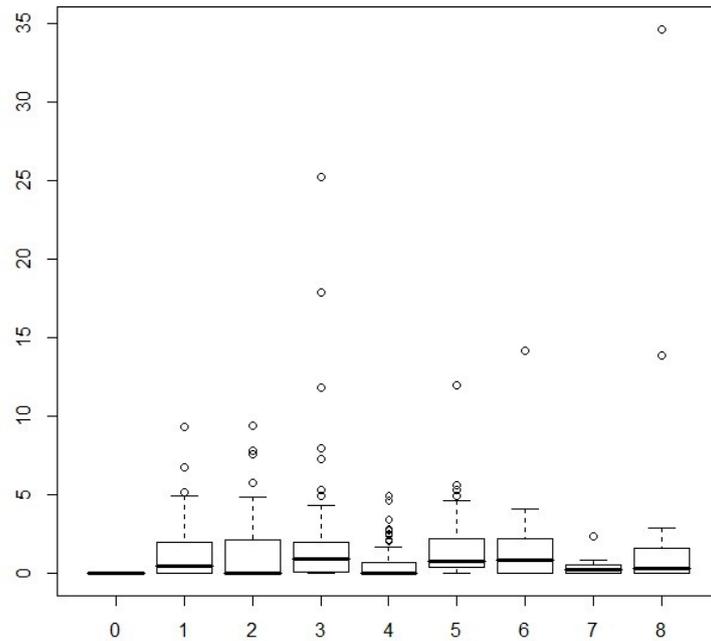
La Figure 55 (a, b et c) montre les différentes boîtes à moustaches issues du test ANOVA pour les sections stables pour les trois périodes étudiées précédemment. En abscisse sont représentés les huit contextes d'habitation et en ordonnée est représentée l'incidence moyenne des cas confirmés observée à l'échelle des sections couvertes par les médecins sentinelles de 2000 à 2008. Les contextes intermédiaires (classe 3), résidentiels (classe 5) et ruraux (classe 6) présentent les valeurs médianes d'incidence les plus élevées d'après l'interprétation des boîtes à moustaches présentées à la Figure 33. Les contextes naturels (classe 2), agricoles (classe 4) connaissent des valeurs médianes proches de zéro tandis que les contextes touristiques (classe 1), périphériques (classe 7) et urbains (classe 8) possèdent des incidences intermédiaires.



a) **Boxplot entre les sections avec contexte stable et la zone de couverture des médecins sentinelles entre 2000 et 2003**



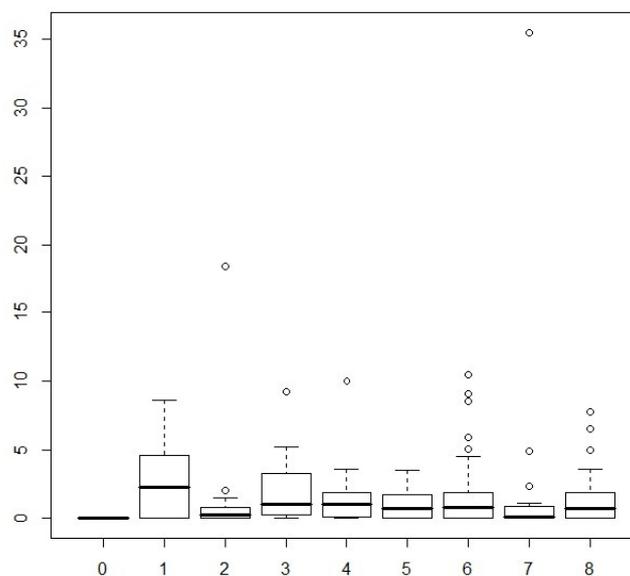
b) **Boxplot entre les sections avec contexte stable et la zone de couverture des médecins sentinelles entre 2003 et 2006**



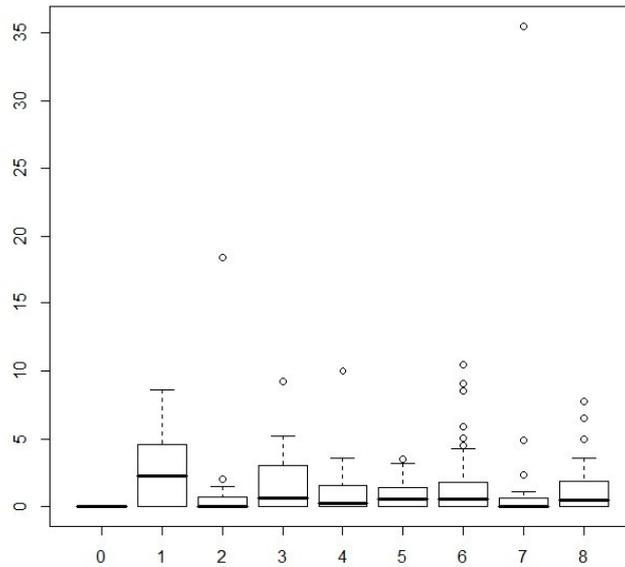
c) **Boxplot entre les sections avec contexte stable et la zone de couverture des médecins sentinelles entre 2000 et 2007**

**Figure 55 a, b et c- Boxplot suite à l'ANOVA entre les sections stables et les contextes d'habitation selon les différentes périodes étudiées**

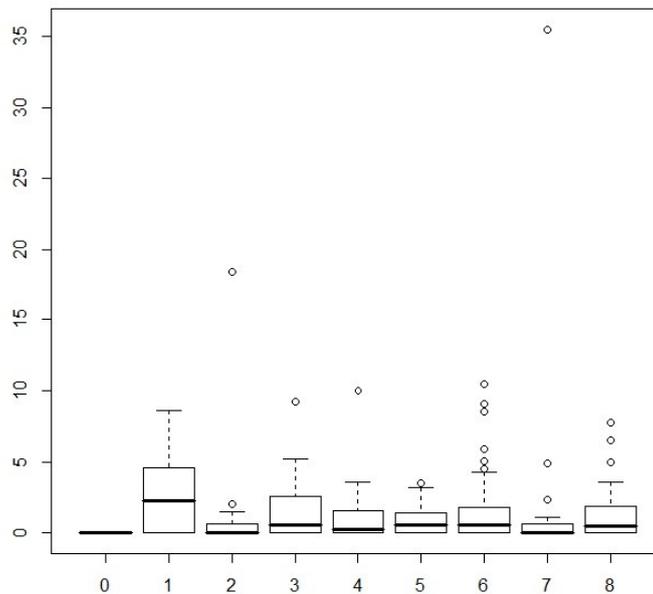
La Figure 56 (a, b et c) présente les boîtes à moustaches issues du test ANOVA pour les trois mêmes périodes étudiées mais cette fois-ci pour les sections changeant une seule fois de classification entre 1996 et 2004. Par rapport à ce qui a été observé dans la Figure 55, on constate une influence plus forte des contextes touristiques et intermédiaires dans l'incidence de dengue avec des valeurs médianes les plus élevées. A l'inverse, les contextes naturels et agricoles montrent des valeurs proches de zéro.



a) **Boxplot entre les sections avec changement de contexte et la couverture des médecins sentinelles entre 2000 et 2003**



**b) Boxplot entre les sections avec changement de contexte et la couverture des médecins sentinelles entre 2003 et 2006**



**c) Boxplot entre les sections avec changement de contexte et la couverture des médecins sentinelles entre 2000 et 2007**

**Figure 56 a, b et c- Boxplot suite à l'ANOVA entre les sections changeant de classe et les contextes d'habitation selon les trois périodes étudiées**

A partie des Figures 55 et 56, le Tableau 18 présente les valeurs des médianes et des valeurs supérieures des incidences des boîtes à moustaches pour les sections stables et les sections changeant de contexte entre 1996 et 2004. Les trois mêmes périodes d'analyses 2000-2003, 2003-2006 et 2000-2007, présentées dans le Tableau 17, sont gardées afin de les comparer entre elles.

Le Tableau 18 ci-dessous vient confirmer les tendances issues des résultats des boîtes à moustaches. S'agissant des sections stables et des sections avec évolutions de classe, les valeurs des médianes et valeurs extrêmes sont très proches entre les périodes. Si l'on considère les sections ayant changé de contexte, nous observons que les classes 1, 3, 5, 6 et 8 possèdent les valeurs les plus élevées alors que les contextes naturels (classe 2) et périphériques (classe 7) ont les chiffres les plus faibles que ce soit pour la médiane ou la valeur supérieure. Concernant les sections stables, les contextes touristiques, intermédiaires, résidentiels, ruraux sont les plus affectés par l'incidence des cas confirmés tandis que les classes naturels, agricoles, périphériques et urbains possèdent les valeurs les plus faibles.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Sections avec évolution de classe</b>								
2000-2003								
médiane	2,28	0,27	0,99	1,01	0,71	0,8	0,125	0,715
valeur extrême supérieur	8,6	1,47	5,24	3,56	3,51	4,54	1,11	3,61
2003-2006								
médiane	2,28	0	0,655	0,26	0,59	0,525	0	0,5
valeur extrême supérieur	8,6	1,47	5,24	3,56	3,22	4,29	1,11	3,61
2000-2007								
médiane	2,28	0	0,58	0,245	0,59	0,525	0	0,5
valeur extrême supérieur	8,6	1,47	5,24	3,56	3,22	4,29	1,11	3,61
<b>Sections stables sans changement de classe</b>								
2000-2003								
médiane	0,44	0	1,225	0	0,775	0,82	0,44	0,42
valeur extrême supérieur	4,94	5,79	4,35	2,54	4,96	4,07	0,82	2,87
2003-2006								
médiane	0,44	0	0,94	0	0,78	0,82	0,23	0,3
valeur extrême supérieur	4,94	4,88	4,35	1,67	4,62	4,07	0,82	2,87
2000-2007								
médiane	0,44	0	0,94	0	0,78	0,82	0,215	0,3
valeur extrême supérieur	4,94	4,88	4,35	1,67	4,62	4,07	0,82	2,87

**Tableau 18- Médiane et valeur extrême supérieure des incidences selon les périodes de couverture des médecins et l'effectif des sections stables et avec changement de classe entre 1996 et 2004**

## 4. Discussion

Dans une première étape de notre étude, nous avons défini l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue à l'échelle des communes et des sections de la Guadeloupe pendant la période de 2000 et 2008. Dans une deuxième étape, nous avons analysé l'évolution de l'urbanisation dans ce département, ce qui a permis d'aboutir à la définition de différents contextes d'habitation. Enfin dans la dernière étape, nous avons testé ces contextes afin de mettre en évidence leurs éventuelles influences sur les valeurs d'incidence de dengue observées et d'une manière générale, sur la transmission de la dengue.

### 4.1 Evolution des contextes d'habitation

Afin de déterminer la répartition des différents contextes d'habitation sur le territoire Guadeloupéen, différentes classifications (non supervisée et supervisée) ont été effectuées à différentes résolutions spatiales (raster et vecteur) (Chen, 2002). L'utilisation de deux unités d'échelles que sont les pixels (mailles) et polygones (sections) a permis de comparer les résultats de classification de contextes obtenus par ces deux méthodes (Wulder, 2006).

La classification non supervisée par la méthode raster a permis de classer les régions habitées de la Guadeloupe continentale avec l'utilisation de mailles de surfaces régulières. Cette étape de l'analyse est aisée à reproduire car a priori, elle ne requiert aucune connaissance a priori concernant les caractéristiques de l'urbanisation du territoire. Huit contextes d'habitation ont pu être identifiés. Le nom sémantique des contextes a été obtenu grâce à une analyse post-résultat, en tenant compte des valeurs des variables physiques et socio-démographiques pour les huit contextes obtenus. La corrélation entre les variables socio-démographiques et les caractéristiques physiques des bâtiments et le type d'habitat a rendu plus aisée l'identification des différents contextes d'habitation.

Par le biais de cette classification, les contextes urbains (classe 7) et périphériques (classe 8) sont reconnus sans ambiguïté et la précision de leurs limites géographiques est confirmée par les cartes administratives, les images aériennes, les experts locaux dans la planification urbaine et les architectes. Les zones urbaines correspondent essentiellement aux villes de Pointe-à-Pitre et Basse-Terre, principales pôles économiques et d'activité du département. En plus de ces classes, six nouveaux contextes d'habitations sont définis par la classification non supervisée: touristique (classe 1), naturel (classe 2), intermédiaire (classe 3), agricole (classe 4), résidentiel (classe 5) et rural (classe 6). La progression de ceux-ci doit être considérée dans l'étude des contextes favorisant la transmission de la maladie dans certaines zones de la Guadeloupe continentale. Néanmoins, entre 1996 et 2004, plusieurs contextes évoluent de manière irrégulière, en particulier les contextes touristiques, ruraux et résidentiels. Ainsi, les matrices de confusion ont montré des résultats contrastés. Entre 1996 et 2000 (Tableau 5), pour les classes 1, 2, 3, 5, 6 et 8, plus de 80% des mailles conservent la même classe et dépassent même les 90% pour les classes 1 et 8 alors qu'entre 2000 et 2004 (Tableau 6), seules les classes 4 et 8 voient leur stabilité dépasser les 80%.

Dans cette optique, la classification supervisée de la méthode raster a été exploitée avec l'utilisation de deux algorithmes (FT et C4.5). L'étude plus approfondie des relations entre les variables les plus pertinents a permis une amélioration de la classification des contextes d'habitation et la relation entre contextes.

Ainsi, les huit contextes détectés se montrent plus stables au cours du temps. Toutefois, les résultats de l'algorithme FT se sont révélés les plus probants en comparaison avec l'algorithme C4.5. En effet, par rapport à l'évolution des contextes d'habitation qui avait une évolution irrégulière par la méthode non supervisée (classes 1, 5 et 6), la répartition spatiale de ces contextes par l'algorithme FT s'est montrée meilleure et plus stable. Une conservation de classification des mailles de l'ordre de plus de 80% est observée entre 1996 et 2000 à l'exception de la classe 6 (77%) (Tableau 8) et entre 2000 et 2004 (Tableau 9), nous avons une stabilité supérieure à 80% pour les classes 1, 3, 4 et 8 mais surtout aucune classe en dessous des 50% contrairement à la matrice de confusion de la méthode non supervisée (en particulier les classes 1, 2 et 6).

Le contexte touristique (classe 1) a évolué avec une progression du nombre de mailles, deux fois plus élevée : 882 en 2004 contre 447 en 1996 (Tableau 7). Ce contexte est localisée principalement en nord Basse-Terre (Sainte-Rose, Deshaies) et Sud-Est Grande-Terre (Sainte-Anne, Saint-François, Moule). Ces zones correspondent essentiellement à la localisation des hôtels ou maisons d'hôtes près des zones côtières<sup>60</sup>. Ensuite, la répartition spatiale du contexte résidentiel est assez stable dans le temps (1 867 en 1996 contre 1 678 en 2004). Le contexte rural suit la même évolution stable que le contexte résidentiel, avec 1 113 mailles en 1996 contre 1 180 en 2004.

D'autre part, l'augmentation du nombre de mailles (12 122 en 1996 et 13 564 en 2004), c'est à dire 1 442 nouvelles cellules (12%), correspondent à la construction de bâtis dans les espaces naturels (classe 2) et agricoles (classe 4). En effet, ce phénomène amène principalement à une augmentation des contextes d'habitation naturelle (1 704 en 2004 contre 1 650 mailles en 1996) et agricole (4 290 en 2004 contre 3 662 cellules en 1996), la zone intermédiaire (3 341 en 2004, 2 733 en 1996) constituant une zone tampon entre les deux contextes. Le contexte agricole concerne le centre et le nord de la Grande Terre avec les communes de Morne à l'Eau, Le Moule et Petit-Canal. Les chiffres de pourcentage de nouvelles constructions compris entre 14 et 17% entre 1999 et 2008 pour ces communes (Figure 48) viennent confirmer la tendance observée de la progression du contexte agricole sur le terrain au cours du temps.

Suite au classement des contextes d'habitation par la représentation raster, une analyse « vecteur » des données a été effectuée. Les données raster ne sont pas forcément adaptées au traitement SIG (Benz, 2004) ; il est nécessaire dans certains cas de changer de représentation (Lewinski, 2004). En effet, les paramètres et processus définis à une échelle donnée ne sont souvent pas interprétables à une autre échelle (Liebhold, 1993). Les variables physiques et socio-démographiques utilisées à l'échelle de la maille ont été ainsi recalculées à celles des sections de la Guadeloupe grâce à l'analyse vecteur. Néanmoins, selon une étude sur le couvert végétal en 2006 au Canada, plusieurs problèmes peuvent subvenir lorsqu'on mène cette comparaison tels des décalages de géolocalisation, ou des disparités entre l'échelle de la délimitation polygonale et la résolution spatiale de l'image (Wulder, 2006).

En utilisant la représentation « vecteur » avec un découpage de l'espace lié à l'occupation des sols et des limites administratives, les résultats ont pu être améliorés et ont permis de confirmer les tendances observées à l'échelle de la maille. Ainsi, entre 1996 et 2004, les huit contextes d'habitation sont présents et localisés globalement aux mêmes régions définies à l'issue de la classification supervisée à l'échelle de la maille avec l'algorithme FT.

---

<sup>60</sup> <http://www.guadeloupe-antilles.com/fr/index.php?IdPage=1021752514>

Les résultats issus de la classification supervisée à l'échelle des sections ont surtout permis d'affiner les cartes et d'éviter les effets de bord des mailles de la méthode raster (Zhou, 2008). Par ailleurs, les matrices de confusion ont mis en évidence sur l'ensemble de la période 1996-2004 une bonne stabilité de classification des sections pour les classes 1, 2, 4, 5 et 8 avec une conservation minimale des contextes de 74% des sections pour la classification supervisée (Tableau 11 c). Concernant les classes 3, 6 et 7, l'évolution est plus irrégulière dans le temps.

Bien que cette approche « vecteur » donne des résultats probants s'agissant de la classification des contextes d'habitation avec l'avantage de tenir compte des découpages réels du terrain, les résultats peuvent être améliorés par différentes manières, comme par exemple l'intégration d'autres variables potentiellement influentes comme le réseau routier (Barbazan, 2000), qui pourrait affiner la répartition spatiale de ces contextes d'habitations (Vanwambeke, 2011).

## 4.2 Evolution de l'incidence des cas de dengue

L'analyse des données de santé liée à la détermination et au calcul de l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue à l'échelle des communes et sections a été effectuée afin de vérifier l'hypothèse de l'aggravation de la situation épidémiologique de la dengue en Guadeloupe entre 2000 et 2008.

Il y a eu une amélioration de la surveillance des cas suspects par les médecins sentinelles entre 2000 et 2008, qui s'est intensifiée à partir de juillet 2003, soit au milieu de la période d'étude. L'installation de nouveaux médecins sentinelles et/ou l'amélioration de la surveillance par les médecins déjà en place dans les communes a permis une meilleure et plus grande couverture dans la région Basse-Terrienne et du centre Grande-Terre, en particulier dans les communes de Goyave, Trois-Rivières, Vieux-Habitants et Abymes. Cette amélioration du suivi des cas suspects est à rapprocher avec une présence plus régulière des médecins sentinelles. Ces derniers se sont accrus au fil du temps en termes d'effectifs, passant de 47 de 2000 à 2004 à 53 de 2005 à 2008. Les médecins sentinelles représentent 12% de tous les médecins généralistes de la Guadeloupe en 2008 avec un taux de participation hebdomadaire élevé (85% en moyenne en 2008) (BASAG, 2008). A partir de l'analyse détaillée autour de chaque cabinet de l'ensemble des médecins sentinelles mais également des données épidémiologiques des cas de dengue, notre étude a permis de limiter les difficultés liées au traitement de ces données grâce à une recherche de la meilleure exhaustivité des données de santé publique. Par la suite, la définition précise de l'incidence des cas suspects a pu être effectuée sur tout le territoire de la Guadeloupe.

L'incidence pour 1 000 habitants des cas suspects et confirmés de dengue de 2000 à 2008 en Guadeloupe continentale montre une tendance à l'aggravation de la situation épidémique, en particulier lors des périodes épidémiques (PE) des années 2001, 2005/2006 et 2007. La hausse progressive du nombre de cas de 2000 à 2008, semble confirmer l'hypothèse selon laquelle les années 2001, 2005/2006 et 2007 ont connu de fortes épidémies de dengue.

Sur l'ensemble de la période d'étude, l'année 2007 est la plus catastrophique avec des valeurs d'incidence les plus observées. Depuis le début des années 2000, une co-circulation d'un minimum de deux sérotypes est habituellement observée. Ainsi, les années 1995 à 2005 ont été caractérisées par une co-circulation associant trois sérotypes et en 2005, la co-circulation des quatre sérotypes a été mise en évidence dans les Départements français d'Amérique (DFA). Au cours des dix dernières années, la Guadeloupe a connu plusieurs épidémies importantes liées chacune à la circulation d'un ou deux sérotypes prédominants, respectivement, DENV-3 en 2001, DENV-4 / DENV-2 en 2005, DENV-2 en 2007 et DENV-

1 / DENV-4 en 2010 (Quénel, 2011). En Guadeloupe, l'ampleur des épidémies a été évaluée à 11 500 cas en 2005, 19 000 en 2007 et près de 44 000 en 2010 (Cire Antilles-Guyane, 2010). La circulation des quatre sérotypes dans la région Amérique caractérise une situation d'hyperendémicité (Pinheiro, 1997). En effet, d'un point de vue historique, le premier sérotype du virus de la dengue isolé dans la Caraïbe à lieu à Trinidad en 1952 dû au sérotype 2. Par la suite, le sérotype 3, DEN-3 est isolé pour la première fois dans les Amériques (Venezuela, Petites Antilles, Porto-Rico, Jamaïque) dans les années soixante, avec une résurgence en 1977/78 à Porto-Rico et en Colombie. Le sérotype 1 apparaît en Jamaïque en 1977, le sérotype 4 à Saint Martin et Saint Barthélemy en 1981 (Corriveau, 2003). Ce sérotype 3 fait son apparition en 2001 en Guadeloupe (Institut de Veille Sanitaire, 2006).

L'aggravation de la situation épidémiologique de la dengue observée dans le département entre 2000 et 2008 a été confirmée dans une étude de 2010 dans les Amériques à travers trois périodes 1980–1989, 1990–1999, and 2000–2007. Il a été ainsi observé une augmentation de la morbidité et de la mortalité de la dengue où les concentrations les plus élevées ont été reportées dans les îles hispaniques Caraïbéennes dans les années 1980 (39.1%), en Amérique du Sud (Brésil, Argentine, etc.) dans les années 1990 (55%) et 2000–2007 (62.9%) (San Martin, 2010). En effet, des épidémies de dengue ont été rapportées à Cuba, en République Dominicaine, en Martinique, Guadeloupe, et Guyane Française en 2006. Sur les vingt deux dernières années, l'incidence de la dengue dans toutes les régions subtropicales des Amériques a montré une tendance à la hausse, avec une croissance sans cesse des pics d'épidémies répétée tous les trois à cinq ans accompagnée d'une augmentation des cas sévères et des cas de dengue hémorragique (Halstead, 2006 ; PAHO, 2007). Ces observations pourraient s'expliquer par le fait que des facteurs climatiques et démographiques pourraient jouer un rôle important dans l'hétérogénéité de la distribution des valeurs d'incidence observées en Guadeloupe; l'influence climatique dans le timing des épidémies de dengue, en particulier la température (Chowell, 2011). En effet, une étude menée en 2011 en Guadeloupe sur la période 2000-2007 avait pour but d'améliorer le système de surveillance grâce à la prédiction de l'occurrence des épidémies de dengue quelques mois en amont et aider dans l'efficacité du contrôle du vecteur. Cette étude a mis en exergue une corrélation positive entre l'incidence de la dengue et les variables climatiques telles l'humidité relative, la température minimale et la température moyenne. De plus, il a été montré que la température améliore la prévision des épidémies de dengue, indicateur qui s'avère meilleur que l'humidité et la pluviométrie (Gharbi, 2011). La température et le climat d'une manière générale pourrait expliquer le nombre de cas anormalement élevé observé lors des périodes inter-épidémiques en 2006 et 2007, en particulier par rapport au début de l'étude (années 2000-2004).

Si on observe les périodes épidémiques des autres années d'étude, à savoir 2000, 2002, 2003 et 2004, l'incidence des cas de dengue est moins forte dans le département. Ces années peuvent être considérées comme des années transitoires, avec des recrudescences saisonnières des cas de dengue. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la fin de la période d'étude (années 2006 et 2007), les valeurs d'incidence sont élevées lors des périodes inter épidémiques se rapprochant des valeurs d'incidence observées lors des périodes épidémiques. Ces observations suggèrent l'allongement de la période de transmission favorable de la dengue lors des années récentes. L'épidémiologie de la dengue dans les trois DFA évolue vers une situation d'hyper-endémicité caractérisée par des périodes inter-épidémiques plus courtes avec un nombre résiduel de cas sporadiques plus important en période inter-épidémique (Quénel, 2011).

Ainsi, les bornes définissant les périodes épidémiques et inter épidémiques se seraient déplacées au cours du temps avec un allongement de la période favorable de la transmission

de la dengue. Ainsi, il est démontré que sur toute la période d'étude, la situation épidémique a empiré.

Concernant l'identification de cas suspects faite par le réseau de médecins sentinelles, elle constitue une indication relativement fiable en termes de détection. Toutefois, elle est moins sûre que celle des cas confirmés car les symptômes de la dengue présentent des similarités avec d'autres maladies infectieuses. Par conséquent, la dengue peut être mal diagnostiquée et du fait du manque de spécificité des symptômes de la dengue, les cliniciens peuvent confondre la dengue avec d'autres infections, comme la grippe, le chikungunya (Gubler, 1997). Plusieurs facteurs comme la logistique, le coût ou la motivation personnelle peut être responsable du faible nombre de notifications des cas suspects aux autorités de santé publique légalement requis dans la plupart des pays affectés; les cas reportés de dengue sont souvent fragmentés, incomplètes, inconsistants et non fiable dans certains pays (Suaya, 2009). D'après la détermination de l'incidence des cas suspects à l'échelle des sections, les cas suspects sont distribués que sur une partie du territoire grâce à la définition de zone de couverture des cabinets inclus dans le réseau sentinelle. De plus, ces cas représentent une plus forte proportion que les cas confirmés au niveau de la Guadeloupe et une très forte proportion des cas au niveau de la zone de couverture des cabinets inclus dans le réseau sentinelle. Cela signifie que ne pas répertorier de cas suspect dans la zone de couverture est une bonne indication de l'absence de cas pour cette zone. Au final, l'indicateur « pas de cas suspect » constitue un bon indicateur pour la zone de couverture des cabinets inclus dans le réseau sentinelle mais un indicateur assez mauvais pour le reste de la Guadeloupe.

L'incidence des cas confirmés de dengue contrairement aux cas suspects a été définie et calculée à partir de données de confirmation de la sérologie des patients issus des laboratoires de biologie médicale. De plus, les données de cas confirmés sont plus précises par rapport à celles des cas suspects car nous disposons de plus d'informations relatives au cas confirmés, en particulier le lieu de résidence aussi bien à l'échelle de la commune que de la section, ce qui n'est pas le cas des cas suspects. La présence et l'identification de cas confirmés est une indication très sûre en terme de diagnostic de « cas », distribuée sur tout le territoire. En effet, toute personne peut aller se faire confirmer où il le souhaite. Toutefois, les cas confirmés représentent une faible proportion de l'ensemble des cas théoriques totaux car tous les patients ne vont pas faire un test de confirmation. Ainsi, le fait de ne pas avoir de cas répertoriés dans une section ne signifie pas une absence de cas. L'indicateur « pas de cas confirmés » est par conséquent un mauvais indicateur. De plus, l'analyse de l'incidence par sections a rendu l'exhaustivité de nos données difficile du fait que certaines fiches étaient mal ou pas renseignées à l'échelle des sections. Par conséquent, les incidences n'ont pas été calculées et reportées pour plusieurs sections pour l'ensemble des communes de la Guadeloupe continentale.

L'effort de confirmation durant les périodes d'épidémies est à prendre en compte. En effet, lors d'une période épidémique, vu le nombre important de cas observés, les centres épidémiques sont traités en priorité par les services de santé publique et la confirmation du laboratoire n'est plus systématiquement demandée (Annexe 2). De plus, même si les symptômes de la dengue ne sont pas spécifiques, des cas de dengue sont reportés régulièrement dans les pays endémiques durant la saison de l'été. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de confirmer tous les cas suspects quand une épidémie est déclarée positive.

Dans la région Amérique, les cas de dengue sont reportés et stratifiés par sévérité: Fièvre Dengue et Dengue Hémorragique, reportant seulement les cas suspects et confirmés alors que d'autres pays reportent uniquement les cas sévères de dengue (Who, 2000). Dans les Amériques, les systèmes de surveillance sont généralement passifs et considérés comme inefficace dans la définition dans le cadre global de la transmission dans une communauté donnée (Wiegandt, 2006).

En Guadeloupe, les systèmes de surveillance sont organisés autour d'une récolte prospective des cas suspects et confirmés de dengue par différents organismes (médecins sentinelles, hôpitaux, laboratoires). Grâce à cette organisation, les données relatives aux cas suspects et confirmés ont pu être croisées entre elles afin de vérifier l'exactitude de ces données pour la définition de l'incidence par la suite. Néanmoins, le manque d'uniformité des données épidémiologiques reportées et la surveillance de la dengue entre les pays à l'échelle internationale rend difficile les comparaisons. Néanmoins, concernant la Guadeloupe, l'utilisation du SIG nous a permis de corréliser deux types de données: les données épidémiologiques d'une part et la localisation géographique des médecins sentinelles par ailleurs dans le but de représenter les incidences de dengue et de mettre l'accent sur les zones caractéristiques des valeurs d'incidence les plus élevées.

Une étude de 2006 en Indonésie a montré une augmentation des cas de dengue dans le pays à travers le temps et a posé la question d'un changement épidémiologique dans le pays (Setiati, 2006). D'après l'évolution de la situation épidémiologique de la dengue en Guadeloupe, la même question peut être formulée pour la Guadeloupe d'après les analyses faites sur les cas suspects et confirmés observés entre 2000 et 2008 dans le département. De plus, les études faites à Singapour en 2008 ont montré que les régions avec une proportion élevée de résidents désavantagés socio-économiquement avaient également une incidence significativement plus élevée de fièvre dengue ou dengue hémorragique (Ma, 2008).

La question du lieu précis de l'infection est une question importante afin d'expliquer l'évolution observée de la situation épidémiologique de la dengue (Sujariyakul, 2005) en Guadeloupe continentale et pour le contrôle de la dengue. Notre étude épidémiologique est basée sur l'hypothèse que la surveillance et le contrôle de l'infection des cas sont en rapport avec le lieu d'habitation, aussi bien pour les cas suspects que pour les cas confirmés. D'après les cas de dengue reportés en Guadeloupe depuis 2000, nous ne savons pas précisément la proportion de la population qui s'infecte à domicile ou ailleurs.

L'étude de l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue s'est déroulée entre 2000 et 2008, l'étude des contextes d'habitation entre 1996 et 2004. Le décalage entre les deux périodes d'étude s'explique par le fait qu'une action sur l'environnement ne produit pas un effet immédiat sur des populations de moustiques mais un effet différé (accroissement progressif des populations). Par conséquent, l'effet ne peut être observé qu'après quelques années et est surtout attesté par une tendance dans le temps : c'est un effet d'inertie lié à l'effet cumulatif. On ne peut pas étudier immédiatement l'effet à long terme d'un changement environnemental sur une population de vecteurs. Il faut comparer des tendances décalées dans le temps : 4 ans est un délai raisonnable. Des aménagements, l'agrandissement des ménages, le lieu d'implantation de la construction étant autant de facteurs favorable à l'éventuelle implantation du vecteur dans la zone et donc à la circulation potentielle du virus (Wellmer, 1983).

### 4.3 Analyse du facteur d'urbanisation sur les incidences de dengue observées

La définition des contextes d'habitations selon les variables physiques et socio-démographiques est essentielle afin de corrélérer l'influence de ces contextes par rapport aux incidences de dengue observées dans le département entre 2000 et 2008. Un obstacle a résidé dans l'échelle géographique à choisir pour la corrélation des données. En effet, nous avons défini l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue à l'échelle des communes et des sections alors que les contextes d'habitation ont été représentés par l'utilisation de mailles réguliers (250m×250m) pour la classification « raster » et la section pour la classification « vecteur ». La classification « vecteur » est exhaustive dans la définition des contextes d'habitations où chaque section a été classifiée parmi les huit contextes sur l'ensemble de la Guadeloupe continentale. Ce n'est pas le cas pour la représentation de l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue à ce même niveau d'agrégation. Cette non exhaustivité des données épidémiologiques est due à la zone de couverture définie autour de chaque cabinet médical pour les cas suspects et à l'absence ou manque de données pour les cas confirmés. La solution adéquate a été de conserver les couches d'incidence à l'échelle des sections pour les croiser avec les couches des contextes d'habitation à cette même échelle. Nous avons d'un côté une valeur d'incidence pour 1 000 habitants calculée pour la surface de chaque section où un ou plusieurs cas de dengue est répertorié et de l'autre le type de contexte d'habitation classé de 1 à 8 également à l'échelle de la section. Une donnée quantitative a ainsi été corrélée à une donnée qualitative.

Pour la comparaison entre zones stables avec le même contexte d'habitation défini pendant toute la période étudiée, l'incidence des cas confirmés par section non nulle a été considérée sur toute la Guadeloupe. Quant aux zones "sans cas" correspondant aux valeurs d'incidence nulles, elles ont été choisies dans la zone couverte par les cabinets sentinelles et/ou aucun cas suspect n'a été détecté. Ainsi, les zones où aucun cas suspect et confirmé n'a été répertorié ont constitué les vraies valeurs nulles où il y a absence de cas. Quant aux sections en dehors de la zone de couverture des médecins ayant une incidence nulle, elles ont été exclues de l'analyse, l'incertitude entre une absence de cas ou un manque de données ne pouvant pas être levée. En ce qui concerne la comparaison entre périodes où les zones étudiées ont changé de statut, l'idéal était de rester dans la zone couverte par les cabinets sentinelles tout comme pour les zones stables.

Les moyennes et les valeurs maximales des incidences des cas confirmés définies à l'échelle des sections de 2000 à 2008 pour l'ensemble des seize périodes épidémiques et inter-épidémiques ont été calculées selon les huit contextes d'habitations. Cela a permis d'avoir une première tendance de l'existence des plus fortes valeurs d'incidences dans un ou plusieurs contextes d'habitations en particulier.

Le test d'ANOVA issu de l'analyse du croisement des données d'incidence et des contextes d'habitation a permis de rejeter l'hypothèse que ces différents contextes n'ont pas d'influence sur la transmission de la dengue en Guadeloupe dans certaines régions en particulier. Les boîtes à moustaches établis sur les sections stables et celles changeant qu'une fois de contexte entre 1996 et 2004 a permis de mettre en évidence une prédominance de l'influence des contextes touristiques, intermédiaires, résidentiels et ruraux dans la transmission de la maladie. Bien que les résultats soient mitigés pour le contexte périphérique, ce dernier jouerait également un rôle en se basant principalement sur les incidences moyennes observées dans les Tableaux 13 et 14.

Le contexte urbain composée principalement des villes de Pointe-à-Pitre et Basse-Terre correspondent à des régions urbaines, se caractérisant par la concentration importante de bâtiments et donc d'humains. D'après le tableau de la Figure 47, les fortes densités de bâtis observées pour Pointe à Pitre et Basse Terre avec respectivement 4009 et 1033 logements par km<sup>2</sup> ainsi que les deux plus faibles superficies du département (5,78 km<sup>2</sup> pour Basse Terre et 2,66 km<sup>2</sup> pour Pointe à Pitre) viennent confirmer cette hypothèse. Quant aux zones périphériques aux zones urbaines, elles sont le *continuum* du contexte urbain, se différenciant par la présence de plus d'habitats individuels ; ces communes constituant des pôles d'emplois importants<sup>61</sup>. C'est le cas entre autres des communes des Abyes et du Gosier qui ont été en partie classées comme appartenant à ce contexte. Ces deux communes possèdent le plus grand nombre de logements en 2008 avec respectivement 28 976 et 14 535. Les directions des déplacements du moustique vecteur sont corrélées avec la densité de réceptifs et d'hôtes préférentiellement humains (Maciel-De-Freitas, 2010), essentiels à son développement et à sa multiplication. Ainsi, les zones urbaines et péri-urbaines avec la concentration de personnes et l'existence de quartiers insalubres constituent des lieux privilégiés pour le développement d'*Aedes aegypti* et la transmission de la dengue.

Les communes de Le Moule et Saint-François localisées dans le sud est de la Grande-terre et Sainte-Rose située au Nord Basse-Terre font partie des pôles urbains secondaires qui brassent de la population autochtone et étrangère en termes touristique et d'emplois<sup>62</sup>. Elles ont été classées comme appartenant au contexte touristique (classe 1). Ces communes possèdent des pourcentages de nouvelles constructions importants entre 1999 et 2008 (29% pour Saint-François, 26% pour Sainte-Rose et 16% pour Le Moule). Elles possèdent également des superficies parmi les plus importantes du département avec 119,65 km<sup>2</sup> pour Sainte-Rose et 82,84 km<sup>2</sup> pour Le Moule.

Deux études de Pongsumpun en 2004 et 2005 en Thaïlande ont montré que plus le temps passé par les touristes dans une région endémique de la dengue est long, plus le risque d'infection augmente chez ces personnes. En effet, l'immunité des touristes vis-à-vis du virus de la dengue est moindre par rapport à la population autochtone et stable du pays (Pongsumpun 2004, 2005). En Guadeloupe, c'est le cas de la majorité de la population résidant dans les hôtels ou autres lieux d'hébergement. Elle est composée de touristes qui pour la plupart, n'ont jamais été immunologiquement en contact avec les différents sérotypes du virus de la dengue et dont ce sera la primo-infection. Les fortes valeurs d'incidence observées dans ces communes viennent confirmer cette hypothèse. En effet, une étude sur les voyageurs Japonais de 2006 à 2010 a montré que les voyageurs présents dans les pays endémiques sont plus susceptibles de contracter la dengue pendant les saisons épidémiques. L'incidence de la maladie est par conséquent plus élevée, associé à un voyage en pays d'endémie même si les cas de dengue importés peuvent ne pas être représentatives des cas locaux dans les pays endémiques (Nakamura, 2012).

Certaines communes localisées près du pôle urbain de la Grande Terre font partie du contexte résidentiel d'après les différentes classifications. C'est le cas en particulier des communes de Petit-Bourg, Baie-Mahault et Goyave situées en Basse-Terre. L'apparition de nouvelles constructions à l'intérieur du contexte résidentiel a augmenté de plus de 20% entre 1999 et 2008 et en particulier pour les communes de Petit-bourg (21%) et Baie-Mahault (29%) et même de 40% pour la commune de Goyave, ce qui démontre bien une augmentation très forte de la population dans ces communes.

<sup>61</sup> [http://www.ag50pas-guadeloupe.fr/Rapport\\_phase3.pdf](http://www.ag50pas-guadeloupe.fr/Rapport_phase3.pdf)

<sup>62</sup> [http://www.ag50pas-guadeloupe.fr/Rapport\\_phase3.pdf](http://www.ag50pas-guadeloupe.fr/Rapport_phase3.pdf)

Le moustique vecteur *Aedes aegypti* ne se contente pas de se développer dans les récipients se trouvant dans les zones urbaines mais également dans les zones intermédiaires, en particulier les contextes périurbains et ruraux où le moustique anthropophile peut s'y développer de manière importante et transmettre le virus de la dengue (Cox, 2007). De plus, ces régions possèdent des jardins avec de la végétation (broméliacées, etc.), conditions favorables au développement du vecteur de la dengue *Aedes aegypti* (Shultis, 2009). Par ailleurs, des enquêtes de terrain menées par les services publics du département, en particulier par l'ARS, dans la prévention du développement du moustique vecteur révèlent qu'il y a des techniques de constructions identiques dans ces zones résidentielles avec notamment des gouttières qui favoriseraient la survie du moustique (Gustave, 2012). En effet, la pose dans la position horizontale des gouttières pour une question esthétique empêche l'évacuation totale des eaux, créant de couches fines d'eaux stagnantes suffisantes pour permettre aux moustiques de s'y développer (Montgomery, 2002). L'utilisation systématique de gouttières afin d'évacuer complètement les eaux pluviales est devenue un problème incontournable à résoudre pour une meilleure gestion de la transmission de la maladie. La température élevée grâce à la présence constante du soleil dans ces régions donne des conditions idéales pour le développement des moustiques et l'accélération du cycle entre la forme larvaire et la forme adulte du vecteur de la dengue (Watts, 1987).

La distribution des facteurs de risque pour la dengue diffère selon les régions d'un même pays (Phuong, 2008), ceci pouvant expliquer la variation locale observée des incidences des cas suspects et confirmés entre la Grande-Terre et la Basse-Terre. Ainsi d'après des travaux réalisés en 2002 et 2005 en Thaïlande, dans la zone périurbaine, la séropositivité dépend plus du comportement humain, de la connaissance de la maladie par la population et des facteurs relatifs à la qualité de l'habitat que les facteurs environnementaux. A l'inverse, les personnes vivant dans les maisons entourées par des couvertures agricoles ou naturelles présentent un faible risque de séropositivité par rapport à d'autres contextes (Van Benthem 2002, 2005). Pour certaines couvertures, comme le parc national de la Guadeloupe correspondant à la zone naturelle, elle ne constitue pas un lieu propice à la transmission de la dengue car il y a quasiment pas d'habitats.

Le déplacement des populations est également à considérer. En dix ans, entre 1990 et 1999, le quart de la population de Guadeloupe a changé de commune. La plupart du temps, ces déménagements se font des centres urbains vers les communes périphériques: c'est la périurbanisation (Cavaillès, 2009). La population s'installe de plus en plus en périphérie des pôles d'attraction économique où les citoyens recherchent une maison individuelle à l'écart des centres-villes, mais non loin des centres d'activités. Les périmètres des zones urbaines s'étendent et les communes de Pointe-à-Pitre et de Basse-Terre ont le plus bénéficié de ces mouvements de population. Les valeurs élevées de densité observées pour Pointe à Pitre et Basse-Terre avec respectivement 4 009 et 1 033 logements par kilomètre carré en 2008 avec dans le même temps les plus faibles taux de nouvelles constructions entre 1999 et 2008 (2% pour Pointe à Pitre et 7% pour Basse Terre) viennent confirmer cette tendance.

Ce phénomène de péri-urbanisation se retrouve également au niveau infra-communal. La population quitte les vieux bourgs de Saint-Claude, Baie-Mahault, Capesterre - Belle-Eau pour s'installer dans les quartiers voisins. Parmi les communes les plus étendues, la majorité voit leur centre bourg se vider au profit des quartiers périphériques (Benhaddouche, 2001). Les populations de la Côte Sous-le-Vent ne sont que très faiblement concernées par cet étalement urbain. Dans l'ensemble des modifications environnementales actuelles, le phénomène de périurbanisation est apparu comme un élément majeur en Guadeloupe. Fruit du

développement économique et de l'accroissement de la population, ce phénomène se manifeste depuis plusieurs années dans les régions développées<sup>63</sup>. En Guadeloupe, il s'amplifie particulièrement depuis les années 90 en s'étendant vers les zones rurales de plus en plus éloignées.

#### 4.4 Autres facteurs explicatifs potentiels de l'incidence des cas de dengue

La dengue est une maladie multifactorielle, plusieurs variables sont intervenues dans la résurgence des épidémies DF/DHF ayant eu lieu au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. Les changements sociétaux et démographiques (croissance de la population mondiale, modernisation des transports, etc.) contribuent à la progression et l'expansion géographique de la dengue à travers le monde (Gubler, 1998).

D'autres facteurs comme l'âge (Yew, 2009), le faible statut socio-économique (Vasconcelos, 1998 ; Siqueira, 2004) et du niveau d'éducation (Teixeira, 2002 ; Silva-Nunes, 2008) ou encore la qualité de l'habitat avec l'absence d'air conditionnée ou maisons en dur (Ko, 1992 ; Reiter, 2003) influencent la progression de la maladie. Toutefois, l'*Aedes albopictus* s'adapte très bien au climat méditerranéen c'est-à-dire un climat plus froid en hiver que dans les régions tropicales (Queyriaux, 2007). L'âge est un facteur important et retrouvé partout en zone d'endémie (Cardoso, 2011). Ainsi, les populations les plus affectées sont les enfants âgés de moins de 15 ans selon une étude menée en 2011 en Inde du nord (Garg, 2011). Néanmoins une autre étude de 2011 au Viêt-Nam a montré qu'au cours des infections primaires et secondaires, les patients les plus âgés pouvaient conduire à un risque plus élevé d'attaque clinique. L'infection de ces patients peut résulter d'une diminution de la force de l'infection causée par divers facteurs, parmi lesquels les variations de la dynamique épidémiologique, écologique et démographique (Thai, 2011).

Un phénomène mondial global pourrait jouer un rôle dans la transmission de la maladie: le changement climatique de la planète (McMichael, 2006). Les maladies infectieuses dont la dengue sont des entités globales qui dépendent de manière dynamique de l'interaction entre la population et le climat régional existant (Githeko, 2000). Le réchauffement climatique est un changement climatique qui peut résulter dans un changement considérable du spectre des maladies émergentes. Le concept du réchauffement climatique requiert des explications du phénomène appelé l'effet de serre. Le mathématicien et scientifique Jean Baptiste Fourier est le premier à inventer ce terme en 1827. La taille de la population et le réchauffement climatique sont liés aux activités humaines qui augmentent la production de gaz à effet de serre. L'augmentation de 0,3 à 0,6 degrés Celsius de la température globale observée au cours du 20<sup>ème</sup> siècle est prévue de s'accélérer dans le futur. Les mois les plus chauds ont été 1987, 1988, 1983 et 1980 (Spencer, 1990) soit la décennie d'apparition de la première épidémie importante de dengue dans la Caraïbe, précisément à Cuba (Kouri, 1989). Les épidémies sont nombreuses et peuvent toucher potentiellement une centaine de pays dans le monde situés dans la zone intertropicale ou plusieurs facteurs corrélés ou non entre eux peuvent conduire à l'explosion de cas de dengue. Les conditions météorologiques sont considérées comme étant les plus importants facteurs dans l'occurrence des épidémies de dengue (Gubler, 2001).

---

<sup>63</sup> [http://www.isted.com/pole-ville/urban\\_cooperation/coop\\_ch1.pdf](http://www.isted.com/pole-ville/urban_cooperation/coop_ch1.pdf)

L'analyse des facteurs climatiques doit être par conséquent réalisée, au regard des incidences de dengue mises en évidence en Guadeloupe entre 2000 et 2008, comme la montre précédemment l'étude de Gharbi en 2011 entre la température et l'incidence de dengue observée. Dans beaucoup de maladies à transmission vectorielle, la température n'a pas d'effets uniquement sur la survie des insectes mais aussi leur reproduction, développement et les périodes d'infection. La période d'incubation extrinsèque de *Aedes aegypti* (Richardson, 2006) est réduite à des températures élevées (in vitro: 12 et 7 jours, respectivement à 30°C et entre 32°C et 35°C) (Watts, 1987), augmentant le pourcentage de moustiques infectés à un moment donné. L'effet combiné de la température et de l'humidité influence peut influencer le taux de survie de celui-ci (Rowley, 1968). Ainsi, d'après une étude dans la ville de Récife au Brésil en 2010 sur l'impact de faibles variations en température et humidité sur la reproduction et la survie de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae), il a été montré qu'à 25 °C et 80% d'humidité relative, les moustiques femelles survivent deux fois plus et produisent 40% d'œufs de plus comparés à ceux se développant à 35°C et 80% d'humidité relative (Costa, 2010). Les dynamiques de transmission dépendent de plusieurs paramètres dont l'impact de la température seul ne peut être isolé des autres facteurs climatiques (pluie, humidité) et non climatiques (immunité de groupe). Les changements dans la température et la précipitation peuvent jouer un rôle dans les changements de niveaux d'incidence.

Un autre phénomène nommé El Niño correspond à l'origine à un courant chaud océanique qui se dirige vers le sud le long de la côte du Pérou et de l'Equateur ; par la suite, associé à un large réchauffement inhabituel, ce courant apparaît une année sur deux avec la niña en alternance et change l'écologie locale et régionale (Atul, 2005 et Kovats, 2003). El Niño semble influencer la génération, l'intensification et la redistribution d'un nombre de maladies vectorielles émergentes (Nicholls 1993; Epstein 1998 ; Kovats, 2000) et augmente le risque d'épidémies dans certaines régions géographiques où les conditions météorologiques sont associées avec le cycle d'El Niño (Gagnon 2001). En effet, des études dans les pays de la Caraïbe ont montré que la probabilité des épidémies était plus élevée durant les périodes d'El Niño (Kovats, 2000). Le rôle de ce phénomène peut être malgré tout obscurci par l'hétérogénéité locale du climat.

La densité démographique a d'importantes répercussions sur la progression des maladies transmises par des vecteurs (Knowlton, 2009) et les zones à forte densité constituent des régions à risque. L'étude à différentes échelles d'agrégations des mouvements et flux des personnes dans les pays concernés apporterait des informations additionnelles dans l'analyse de la transmission de la maladie (Mondini, 2008). En outre, la migration campagne-ville, le commerce, les activités de voyages dans les régions urbaines, peuvent concourir également à l'occurrence de la dengue et au changement des caractéristiques d'infection. La complexité structurale, l'hétérogénéité spatiale urbaine, le mouvement complexe des vecteurs et hôtes, et la création anthropogénique des habitats de vecteurs constituent des challenges particuliers dans l'étude des maladies à transmission vectorielle comme la dengue dans un environnement urbain (Troyo, 2009).

L'évaluation des conditions sanitaires devient essentielle pour la prévention des épidémies lorsque la question liée à la santé de la population est analysée (Sampaio, 2009). La vigilance par rapport à l'apparition de cas sporadiques de dengue lors des périodes inter-épidémiques requiert une continuité de la promotion des mesures de santé ; le contrôle du vecteur et la surveillance clinique et laboratoire doivent être encouragés, spécialement après plusieurs cas positifs de dengue rapportés dans une même région. Les conditions climatiques dont la

pluviométrie et la température, facteurs intervenant dans le développement du moustique vecteur *Aedes aegypti* pourraient donner des informations dans cette optique.

Une étude sur le(s) lieu(x) d'infection principal (aux) de la population par le virus de la dengue en Guadeloupe devrait être conduite afin de mieux connaître la dynamique de l'infection et de la transmission de la maladie par le moustique vecteur *Aedes aegypti* dans le département.

## 5. Perspectives

Plusieurs analyses géostatistiques peuvent être effectuées dont l'autocorrélation spatiale (Zaninetti 2005) afin de vérifier la corrélation entre les contextes d'habitation et la transmission de la dengue en Guadeloupe. L'autocorrélation permettra de savoir si les regroupements de sections avec une forte valeur d'incidence selon les périodes de transmission sont indépendants ou liés entre eux. Les capacités d'analyse spatiale du SIG (distance, proximité, etc.) peuvent être utilisées afin d'améliorer les activités de contrôle entomologique/vectorielle et à localiser les sources possibles de la transmission (Who, 2006). Ainsi, en incorporant la géostatistique, la modélisation et les prévisions des possibles épidémies de dengue, il sera un usage bon et efficace comme support de décision (Lian, 2006).

Un autre axe de travail réside dans l'affinage des contextes d'habitation obtenus par les classifications « raster » et « vecteur ». L'existence d'un contexte majoritaire dans une zone donnée n'exclut pas la présence d'autres contextes dans cette même région à des proportions certes moins importantes. Suite aux résultats de la première classification, les données physiques et socio- démographiques devront être analysées une seconde fois, prenant en compte séparément en entrée les données relatives à un même contexte. Cela aurait pour conséquence d'obtenir à l'intérieur d'une même zone classée dans un contexte unique le découpage de cette zone en plusieurs contextes, le nombre variant selon les valeurs des données en entrée. Un gradient des contextes pourra être mis en évidence selon les zones.

Dans cette même optique de l'amélioration de la classification des contextes d'habitation, l'utilisation de l'occupation du sol (urbain, agricole et naturel) devrait être étudiée. Dans la classification « vecteur », les variables physiques et socio-démographiques ont été respectivement recalculées et reportées à l'échelle de la section. Composant trois des six variables physiques, la proportion de la part d'urbain, d'agricole et de naturelle a été ainsi calculée pour chaque section. Il peut ainsi y avoir plusieurs polygones représentant le même type d'occupation du sol dans une section. A partir de ces différentes occupations du sol, le but est de redéfinir les contextes d'habitation en prenant en compte séparément chaque polygone.

Enfin, bien que les pays de la zone intertropicale potentiellement affectés par la dengue ne possèdent pas tous les mêmes systèmes de surveillance de la maladie, il serait intéressant de mener la même étude d'analyse entre l'épidémiologie de la dengue et l'urbanisation, particulièrement avec les autres départements Français de la Caraïbe, Guyane et Martinique qui possèdent le même système de surveillance de la maladie.

## 6. Conclusion

La dengue est une maladie transmise principalement par le moustique *Aedes aegypti* dans les pays tropicaux. Ceci constitue un réel problème de santé publique dans ces régions. Les contextes d'habitations influencent la transmission de la dengue de différentes façons (population, environnement, conditions sociales, etc.). Afin d'aider à réduire la propagation du virus, nous avons dans notre étude d'une part précisément défini localisé les contextes d'habitations à hauts risques et d'autre part la relation entre les contextes d'habitation et la transmission de la maladie afin d'aider les autorités à lutter localement et globalement contre le virus.

Cette étude a permis l'identification et la localisation de contextes d'habitation telles les régions urbaines, périurbaines mais également les zones résidentielles et touristiques. L'analyse de l'incidence des cas suspects et confirmés de dengue entre 2000 et 2008 a permis de valider l'importance de ces contextes dans la dynamique de la maladie en Guadeloupe avec de fortes valeurs d'incidences observées lors des épidémies de 2001, 2005/2006 et 2007 dans la région Pointoise, le sud-est de la Grande-Terre et le nord Basse-Terre. Bien que les huit classes retenues soient bien classées par les deux étapes des méthodes (classifications supervisée et non supervisée), plusieurs différences existent entre ces deux méthodes. La contribution de la classification supervisée a permis d'aboutir à une classification stable durant la période étudiée (1996-2004) avec une tendance longue dans le temps détectée. Le croisement des données d'incidence et des contextes d'habitation a permis de valider l'hypothèse que les différents contextes ont une influence sur la transmission de la dengue en Guadeloupe avec en particulier une prédominance des contextes touristiques, résidentiels et ruraux. Des travaux récents menés en Arabie Saoudite en 2012 ont montré l'intérêt de l'étude de la relation entre la répartition spatiale des cas de dengue et les variables socio-économiques et environnementaux (Khormi, 2012).

En l'absence de vaccin à l'heure actuelle malgré les progrès en la matière, la seule lutte anti-vectorielle ne suffira pas à enrayer ou réduire à long terme la transmission de la dengue dans le département. Une mise en place et/ou une adaptation des mesures adéquates pour réduire les risques (construction, sensibilisation sociale ciblée...), l'anticipation du développement de potentiel de foyers épidémiques et l'adaptation éventuelle du système de réponse de santé publique constituent autant d'actions à mettre en place ou à améliorer d'après les résultats de l'étude. Ainsi, une prise de conscience et la responsabilisation des citoyens seraient efficaces pour le nettoyage régulier de leurs gouttières ainsi que pour la protection et/ou suppression des récipients et des déchets, ces derniers pouvant servir de gîtes aux moustiques. Les opérations de sensibilisation lors de la Toussaint ou autres dans les communes des DFA doivent être poursuivies et amplifiées (Annexe 3). De plus, une étude en concertation avec les architectes et les fabricants des gouttières permettrait un changement de conception et de pose de celles-ci en pente afin de régler le problème de la stagnation d'eaux. Les différents services susceptibles d'interagir dans la lutte de la maladie tels que l'urbanisme ou la météorologie devraient coopérer et coordonner leurs actions en direction d'une lutte durable contre la dengue en Guadeloupe. Le développement des technologies SIG permettra d'obtenir des outils efficaces afin de mieux gérer les moyens mis à disposition pour la surveillance et la prévention de la dengue.



## Bibliographie

**Albert D. P.** (2000) Infectious diseases and GIS. In Spatial analysis, GIS, and remote sensing applications in the health sciences. Editions Albert D. P., Gesler W. M., and Levergood B.; 111–27. Chelsea, MI: Ann Arbor Press.

**Alcon S, Talarmin A, Debruyne M, Falconar A, Deubel V, Flamand M.** (2002) Enzyme-linked immunosorbent assay specific to Dengue virus type 1 nonstructural protein NS1 reveals circulation of the antigen in the blood during the acute phase of disease in patients experiencing primary or secondary infections. *Journal of Clinical Microbiology*; Vol.40, n°2: 376–81.

**Aldenderfer M.S., Blashfield R.K.** (1984) Cluster Analysis, Newbury Park (CA): Sage.

**Atul A. K., Nettleman M. D.** (2005) Global Warming and Infectious Disease. *Archives of Medical Research*; Vol.36: 689–696.

**Balmaseda A., Hammond S.N., Tellez Y., Imhoff L., Rodriguez Y., Saborio S.I, Mercado J.C., Perez L., Videa E., Almanza E., Kuan G., Reyes M., Saenz L., Amador J.J., Harris E.** (2006) High seroprevalence of antibodies against dengue virus in a prospective study of schoolchildren in Managua, Nicaragua. *Tropical Medicine and International Health*; Vol.11, n°6: 935–942.

**Barbazan P., Amrehn J., Dilokwanich S., Gonzalez J.P., Nakhapakorn K., Oneda K., Thanomsinra A., Yoksan S.** (2000) Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) in the central plain of Thailand, remote sensing and GIS to identify factors and indicators related to dengue transmission (conference), The Chao Phraya Delta: historical development, and challenges of Thailand's rice bowl., Kasetsart University, Bangkok.

**BASAG (Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane)** (2008) Aspects de la lutte antivectorielle dans les DFA; n°5 : 2.

**Benhaddouche A., Aoudia T.** (2001) Les migrations en Guadeloupe entre 1990 et 1999, Antiane, n°48  
[http://www.insee.fr/fr/insee\\_regions/guyane/themes/antiane/ae48/ae48\\_art06.pdf](http://www.insee.fr/fr/insee_regions/guyane/themes/antiane/ae48/ae48_art06.pdf)

**Benhaddouche A., Hecquet V.** (2007) Jarry: nouveau pôle de services, Antiane, n°67  
[http://www.insee.fr/fr/insee\\_regions/guyane/themes/antiane/AE67/AE67\\_art07.pdf](http://www.insee.fr/fr/insee_regions/guyane/themes/antiane/AE67/AE67_art07.pdf)

**Bente D.A., Rico-Hesse R.** (2006) Models of dengue virus infection. *Drug Discovery Today: Disease Models*; Vol. 3, n°1: 97–103.

**Benz U., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heynen M.** (2004) Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*; Vol. 58, n°3-4; 239-258.

**Berry G.** (1996) Le guide de la Guadeloupe. Editions La Manufacture; 12-14.

**Cantillon R.** (1755) Essai sur la nature du commerce en général, Paris (Ined). Réédition 1952.

**Cardoso I. M., Cabidelle A.S.A., Borges P.C.L., Lang C.F., Calenti F.G., Nogueira L.O., Falqueto A., Junior C.C.** (2011) Dengue: clinical forms and risk groups in a high incidence city in the southeastern region of Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*; Vol.44, n°4: 430-435.

**Cassadou S., Gustave J., Fauré O., Chaud P., Yébakima A.** (2007) Programme de Surveillance, d'Alerte et de Gestion des Epidémies de dengue en Guadeloupe continentale et îles proches (PSAGE dengue); 7-8.

**Castle T., Amador M., Rawlins S., Figueroa J.P., Reiter P.** (1999) Absence of impact of aerial malathion treatment on *Aedes aegypti* during a dengue outbreak in Kingston, Jamaica, *Revista Panamericana de Salud Pública*; Vol. 5, n°2:100-105.

**CAUE** (1999) Etat de l'urbanisme en Guadeloupe, 1999.

**Cavailhès J.** (2009) Analyse économique de la périurbanisation des villes, *Innovations Agronomiques*; Vol. 5: 1-12.

**Chen D.M., Stow D.** (2002) The Effect of Training Strategies on Supervised Classification at Different Spatial Resolutions. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*: 1155-1161.

**Chowell G., Cazelles B., Broutin H., Munayco C.V.** (2011) The influence of geographic and climate factors on the timing of dengue epidemics in Perú, 1994-2008. *BMC Infectious Diseases*, Vol.11:164.

**Christie J.** (1872) Remarks on "Kidinga Pepo": a peculiar form of exanthematous disease. *British Medical Journal*; Vol. 1: 577-579.

**Cire Antilles-Guyane** (2010) Le point épidémiologique : Surveillance de la dengue en Guadeloupe; Vol.28.

[http://www.invs.sante.fr/surveillance/dengue/points\\_guadeloupe/2010/pep\\_guadeloupe\\_2010\\_28\\_dengue.pdf](http://www.invs.sante.fr/surveillance/dengue/points_guadeloupe/2010/pep_guadeloupe_2010_28_dengue.pdf)

**Cleland J.B., Bradley B., McDonald W.** (1916) On the transmission of Australian dengue by the mosquito *Stegomyia fasciata*, *Medical Journal of Australia*; Vol. 2:179-205.

**Cockings S., Dunn C.E., Bhopal R.S., Walker D.R.** (2003) User's perspectives on epidemiological, GIS and point pattern approaches to analysing environment and health data, *Health and Place*; Vol.10: 169-182.

**Cohran D.** (1977) Sampling techniques. Wiley, Harvard University, paperback: 428 pages.

**Corriveau R., Philippon B., Yébakima A.** (2003) La dengue dans les départements français d'Amérique/ Dengue in Martinique, Guadeloupe and French Guiana. IRD Editions, 207 pages.

**Costa E.A.P.A, Mendonça S.E.M, Correia J.C., de Albuquerque C.M.B.** (2010) Impact of small variations in temperature and humidity on the reproductive activity and survival of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*; Vol.54, n°3: 488–493.

**Cox J., Grillet M. E., Ramoso O. M., Amador M., Barrera R.** (2007) Habitat segregation of dengue vectors along an urban environmental gradient, *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol.76, n°5: 820-826.

**Cross V.V.** (2001) Fuzzy extensions for relationships in a generalized object model, *International Journal on Intelligent Systems*; Vol.16: 843–861.

**De la Rocque S.** (2001) Les différentes potentialités d'un système d'information géographique pour les études en épidémiologie : l'exemple des trypanosomoses animales en zone soudanienne. *Médecine Tropicale*; Vol. 61: 365-371.

**Desenclos J.C., Lecollinet S., Balenghien T., Fontenille Didier, Lagadic L., Lagneau C., Lefait Robin R., Yébakima A.** (2009) Le contexte de la lutte antivectorielle en France : 2. Les infections humaines, Institut pour la Recherche et le Développement (IRD) : 92-195.

**Drakakis-Smith, D.** (1981) *Urbanization, housing and the development process.* London: Croom Helm.

**Epstein P.R., Diaz H.F., Elias S., Grabherr G., Graham N.E., Martens W.J.M., Mosley-Thompson E., Susskind J.**(1998) Biological and physical signs of climate change : focus on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*; Vol.79, 409-417.

**Falgout B., Pethel M., Zhang Y.-M., Lai C.-J.** (1991) Both nonstructural proteins NS2B and NS3 are required for the proteolytic processing of Dengue virus nonstructural proteins. *Journal of Virology*; Vol.65: 2467–2475.

**Falgout B., Markoff L.** (1995) Evidence that Flavivirus NS1-NS2A Cleavage is mediated by a membrane-bound host protease in the Endoplasmic Reticulum. *Journal of Virology*; Vol. 69, n°11: 7232–7243.

**Flamand M., Megret F., Mathieu M., Lepault J., Rey F.A., Deubel V.** (1999) Dengue virus type 1 nonstructural glycoprotein NS1 is secreted from mammalian cells as a soluble hexamer in a glycosylation dependent fashion. *Journal of Virology*; Vol.73, n°7: 6104–10.

**Gagnon A.S., Bush A.B.G., Smoyer-Tomic K.E.** (2001) Dengue epidemics and El Nino Southern Oscillation. *Climate Research*; Vol.19: 35-43.

**Gama J.** (2004). *Functional Trees.* Machine learning; Vol. 55: pp.219-250.

**Garg P., Nagpalb J., Khairnar P., Seneviratned S.L.** (2008) Economic burden of dengue infections in India, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol. 102: 570-577.

**Garg A., Garg J., Rao Y.K., Upadhyay G.C., Sakhuja S.** (2011) Prevalence of dengue among clinically suspected febrile episodes at a teaching hospital in North India *Journal of Infectious Diseases and Immunity*; Vol.3, n°5: 85-89.

**Gharbi M., Quénel P., Gustave J., Cassadou S., La Ruche G., Girdary L., Marrama L.** (2011) Time series analysis of dengue incidence in Guadeloupe, French West Indies: Forecasting models using climate variables as predictors; Vol. 11, n°166: 1-13.

**Githeko A. K., Lindsay S. W., Confalonieri U.E., Patz J. A.** (2000) Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis, *Bulletin of the World Health Organization*; Vol.78, n°9; 1136–1147.

**Graham A.J., Atkinson P.M., Danson F.M.** (2004) Spatial analysis for epidemiology. *Acta tropica*; Vol. 91, n°3: 219-225.

**Gubler D.J.** (1997) Dengue and dengue hemorrhagic fever: its history and resurgence as a global public health problem. In: Gubler DJ, Kuno G (eds.) *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. CAB International, Wallingford: 1–22.

**Gubler D.J.** (1998) Dengue and dengue hemorrhagic fever, *Clinical Microbiology Revue*; Vol. 11: 480–496.

**Gubler DJ, Reiter P, Ebi KL, Yap W, Nasci R, Patz JA** (2001) Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent borne diseases. *Environmental Health Perspectives*; Vol.109: 223-233.

**Gubler D.J.** (2005) The emergence of epidemic dengue fever and dengue hemorrhagic fever in the Americas: a case of failed public health policy. *Revista Panamericana de Salud Pública*; Vol. 17, n°4: 221-224.

**Guis H.** (2007) Géomatique et épidémiologie: Caractérisation des paysages favorables à *Culicoides imicola*, vecteur de la fièvre catarrale ovine en Corse, 415 pages.

**Gustave J., Fouque F., Cassadou S., Leon L., Anicet G., Ramdini C. and Sonor F.** (2012) Increasing Role of Roof Gutters as *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Breeding Sites in Guadeloupe (French West Indies) and Consequences on Dengue Transmission and Vector Control. *Journal of Tropical Medicine*: 1-3.

**Guy B., Barrere B., Malinowski C., Saville M., Teyssou R., Lang J.** (2011) From research to phase III: Preclinical, industrial and clinical development of the Sanofi Pasteur tetravalent dengue vaccine. *Vaccine*; Vol. 29: 7229– 7241.

**Guzman M.G., Kouri G.** (2003) Dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas: lessons and challenges. *Journal Clinical Virology*; Vol. 27: 1–13.

**Halstead S.B.** (1970) Observations related to pathogenesis of dengue hemorrhagic fever, VI Hypotheses and discussion. *Yale Journal of Biology and Medicine*; Vol. 42: 350-62.

**Halstead S.B.** (2006) Dengue in the Americas and Southeast Asia: do they differ? *Revista Panamericana de Salud Publica*; Vol. 20: 407-415.

**Hartigan J. A., Wong M. A.** (1979). "Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm", *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*; Vol. 28, n°1: 100-108.

**Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.** (2001) *The Elements of Statistical Learning*, Springer-Verlag, New York.

**Haut conseil de la santé publique** (2011) Stratégie de diagnostic biologique de la dengue: 1-40.

**Hemingway J., Ranson, H.** (2000) Insecticide resistance in insect vectors of human *Annual Review of Entomology*; Vol. 45: 371–391.

**Herbreteau V., Salem G., Souris M., Hugot J.-P.** (2005) Sizing up human health through remote sensing: uses and misuses. *Parasitologia*; Vol. 47: 63-79.

**Herbreteau V., Salem G.R., Souris M., Hhugot J.-P., Gonzalez J.-P.** (2007) Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: from early promises to lasting frustration, *Health and Place*; Vol.13: 400-403.

**Hervy** (1976) Cahier O.R.S.T.O.M., Rythme nyctéméral d'activité d'*Aedes aegypti* dans une localité à haute densité stégomyienne de savane soudanienne ouest-africaine. *Série Entomologie médicale et Parasitologie*; Vol.14, n°2: 155-172.

**Hervy J-P** (1977) Expérience de marquage-lâcher-recapture portant sur *Aedes aegypti* Linné, en zone de savane soudanienne ouest africaine, le cycle trophogonique. Cahier ORSTOM, *Série Entomologie médicale et Parasitologie* ; Vol. 15 : 353-364.

**Hudson B.** (1989) The Commonwealth Eastern Caribbean. In *Ambiguous alternative: Tourism in small developing countries*. Editions Britton S. et Clarke W. C., 181-211.

**Husson F., Josse J., Pagès J.** (2010) Principal component methods - hierarchical clustering- partitioning clustering: why would we need to choose for visualizing data, Technical Report. Agrocampus Applied Mathematics Department. <http://www.agrocampus-ouest.fr/math/>.

**Huy R., Buchy P., Conan A., Ngan C., Ong S., Ali R., Duong V., Yit S., Ung S., Te V., Chroeng N., Pheaktra N.C., Uok V., Vong S.** (2010) National dengue surveillance in Cambodia 1980–2008: epidemiological and virological trends and the impact of vector control. *Bulletin World Health Organization*; Vol. 88: 650–657.

**Institut de Veille Sanitaire (InVS)** (2006) Circulation du sérotype 3 de la dengue Amérique latine : 2.

**Jacobs M.G., Robinson P.J., Bletchly C., Mackenzie J.M., Young P.R.** (2000) Dengue virus nonstructural protein 1 is expressed in a glycosyl-phosphatidylinositol-linked form that is capable of signal transduction. *The FASEB Journal*; Vol.14, n°11:1603–10.

**Jianquan C., Masser I.** (2002) Towards a spatial analysis framework: modeling urban development patterns.  
<http://www.geocomputation.org/2001/papers/cheng.pdf>

**Jolliffe I. T.** (2002) *Principal component analysis* Springer; 2nd edition paperback: 502 pages.

**Kaufman L., Rousseeuw P.J.** (1990) *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley Editions, New York.

**Kendall C., Hudelson P., Leontsini E., Winch P., Lloyd L., Cruz F.** (1991) Urbanization, dengue, and the health transition: anthropological contributions to international health. *Medical anthropology quarterly*; Vol. 5, n°3: 257-268.

**Khormi H.M., Kumar L.** (2012) Assessing the risk for dengue fever based on socioeconomic and environmental variables in a geographical information system environment. *Geospatial Health*; Vol. 6, n°2:171-176.

**Kielian M., Rey F.A.** (2006) Virus membrane-fusion proteins: more than one way to make a hairpin. *Nature Reviews Microbiology*; Vol. 4: 67–76.

**Knowlton K., Solomon G., Rotkin-Ellman M.** (2009) “Fever Pitch: Mosquito-Borne Dengue Fever Threat Spreading in The Americas.” Issue Paper, Natural Resources Defense Council, New York.

**Ko Y.C., Chen M.J., Yeh S.M.** (1992) The predisposing and protective factors against dengue virus transmission by mosquito vector, *The American Journal of Epidemiology*; Vol.136: 214-220.

**Kofoed A.C., Kofoed P.W.** (1918) *Nomenclature of diseases*. Royal College of Physicians of London, 5ème edition, 311 pages.

**Kohavi R., Provost F.** (1998) Glossary of Terms. Special Issue of the application of Machine Learning and the Knowledge Discovery; Vol. 30. n° 2-3.

**Kolivras K. N.** (2006) Mosquito Habitat and Dengue Risk Potential in Hawaii: A Conceptual Framework and GIS Application. *The Professional Geographer*; Vol.58, n°2: 139-154.

**Korting T.S.** (2006) *C4.5 algorithm and Multivariate Decision Trees*.

**Kotsiantis S. B.** (2007) *Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques*. Informatica Department of Computer Science and Technology, University of Peloponnese, Greece, Vol. 31: 249-268.

**Kouri G.P., Guzman M.G., Bravo J.R., Triana C.** (1989) Dengue haemorrhagic fever/dengue shock syndrome: lessons from the Cuban epidemic, 1981, *Bulletin of the World Health Organization*; Vol. 67, n°4: 375-380.

**Kovats R.S.** (2000) El Nino and human health. *Bulletin of World Health Organization*; Vol. 79, n°9: 1127-1135.

**Kovats R.S., Bouma M.J., Hajat S., Worrall E., Haines A.** (2003) El Nino and health. *Lancet*; Vol. 362: 1481–1489.

**Kuno G.** (1995) Review of the Factors Modulating Dengue Transmission, *Epidemiology Revue*; Vol. 17, n°2; 321-335.

**La Ruche G., Souarès Y., Armengaud A., Peloux-Petiot F., Delaunay P., Desprès P., Lenglet A., Jourdain F., Leparç-Goffart I., Charlet F., Ollier L., Mantey K., Mollet T., Fournier J.P., Torrents R., Leitmeyer R., Hilairat P., Zeller H., Van Bortel W., Dejourn-Salamanca D., Grandadam M., Gastellu-Etchegorry M.** (2010) First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. *Euro Surveillace*; Vol.15, n°39: 1-5.

**Landwehr N., Hall M., Eibe F.** (2005) *Logistic Model Trees. Machine learning*, Kluwer; Vol. 59, n°1-2: 161-205.

**Lang J.** (2009) Recent progress on Sanofi Pasteur's dengue vaccine candidate. *Journal of Clinical Virology*; Vol. 46: 20-24.

**Lebart L., Piron M., Morineau A.** (2006) *Statistique exploratoire multidimensionnelle: visualisation et inférence en fouilles de données*. Publisher: Dunod 4th edition: 464 pages.

**Levesque A., Mathurin A.** (2007) Important Bird Areas in the Caribbean – Guadeloupe: 183-192.  
[www.birdlife.org/.../guadeloupe\\_\(to\\_france\).pdf](http://www.birdlife.org/.../guadeloupe_(to_france).pdf).

**Lewinski S., Zaremski K.** (2004) Examples of Object Oriented Classification Performed On High Resolution Satellite Images. *Miscellanea Geographica*; Vol. 11: 349-358.

**Lewis H. G., Brown M.** (2001) A generalized confusion matrix for assessing area estimates from remotely sensed data international journal remote sensing; Vol. 22, n°16: 3223-3235.

**Lian C.W.** (2006) Spatial, environmental and entomological risk factors analysis on a rural dengue outbreak in Lundu District in Sarawak, Malaysia. *Tropical Biomedicine*; Vol. 23, n°1: 85–96.

**Liebhold A.M., Rossi R.E., Kemp W.P.** (1993) Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*; Vol. 38: 303-327.

**Lindenbach B.D., Rice C.M.** (1999) Genetic interaction of flavivirus nonstructural proteins NS1 and NS4A as a determinant of replicase function. *Journal of Virology*; Vol. 73: 4611–4621.

**Ma S., Ooi E.E., Goh K.T.** (2008) Socioeconomic determinants of dengue incidence in Singapore *Dengue Bulletin*; Vol. 32: 17-28.

**Maciel-de-Freitas R., Marques W.A., Peres R.C., Cunha S.P., Lourenço-De-Oliveira R.** (2007) Variation in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) container productivity in a slum and a suburban district of Rio de Janeiro during dry and wet seasons, *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* ; Vol. 102: 489-496.

**Maciel-De-Freitas R., Souza-Santos R., Codec C. T. , O, Lourenço-De-Oliveira R.** (2010) Influence of the spatial distribution of human hosts and large size containers on the dispersal of the mosquito *Aedes aegypti* within the first gonotrophic cycle. *Medical and Veterinary Entomology*; Vol. 24: 74–82.

**Mackenzie J.M., Jones M.K., Young P.R.** (1996) Immunolocalization of the dengue virus nonstructural glycoprotein NS1 suggests a role in viral RNA replication. *Virology*; Vol. 220, 232–240.

**Marcombe S., Darriet F , Agnew P. , Etienne M, Yp-Tcha M.M., Yébakima A., Corbel V.** (2011) Field Efficacy of New Larvicide Products for Control of Multi-Resistant *Aedes aegypti* Populations in Martinique (French West Indies). *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol. 4, n°1: 118-126.

**Massé N., Selisko B., Malet H., Peyrane F., Debarnot C., Decroly E., Benarroch D., Egloff M.-P., Guillemot J.-C., Alvarez K., Canard B.** (2007) Le virus de la dengue : cibles virales et antiviraux. *Virologie* ; Vol. 11, n°2: 121-33.

**McMeniman C.J., Lane R.V.** (2009) Stable introduction of the life-shortening *Wolbachia* Infection into the mosquito *Aedes aegypti*. *Science*; Vol. 323, n°5910:141-144.

**McMichael A.J., Woodruff R.E., Hales S.** (2006) Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*; Vol. 367: 859-69.

**Meltzer M.I., Rigau-Perez J.G., Clark G.G., Reiter P., Gubler D.J.** (1998) Using disability-adjusted life years to assess the economic impact of dengue in Puerto Rico: 1984-1994. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol. 59 : 265-271.

**Michel L.** (2009) Arrêté du 9 septembre 2009 concernant l'interdiction d'utilisation de certains produits biocides-Version consolidée au 23 septembre 2009, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat.

- Mocellin M. G., Simões T.C., Nascimento T.F.S., Teixeira M.L.F., Lounibos L.P., Oliveira R.L.** (2009) Bromeliad-inhabiting mosquitoes in an urban botanical garden of dengue endemic Rio de Janeiro - Are bromeliads productive habitats for the invasive vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*? Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 104, n°8: 1171-1176.
- Mondini A., Chiaravalloti-Neto F.** (2008) Spatial correlation of incidence of dengue with socioeconomic, demographic and environmental variables in a Brazilian city. Science of the total environment; Vol.393, n°2-3: 241-248.
- Montgomery B.L., Ritchie S.A.** (2002) Roof gutters: a key containers for *Aedes Aegypti* and *Ochlerotatus Notoscriptus* (Diptera: Culicidae) in Australia. The American Society of Tropical Medicine and Hygiene; Vol. 67, n°3: 244–246.
- Moreira L. A., Iturbe-Ormaetxe I., Jeffery J.A., Lu G., Pyke A.T., Hedges L.M., Rocha B.C., Hall-Mendelin S., Day A., Riegler M., Hugo L.E., Johnson K.N., Kay B.H., McGraw E.A., van den Hurk A.F., Ryan P.A., O’Neill S.L.** (2009) A Wolbachia symbiont in *Aedes aegypti* limits infection with dengue, chikungunya, and Plasmodium. Cell; Vol. 139, 1268–1278.
- Murray C.J.L.** (1994) Global burden of disease. Bulletin of the World Health Organization, Vol. 72, n°3: 429-445.
- Nakamura N., Arima Y., Shimada T., Matsui T., Tadad Y., Okabede N.** (2012) Incidence of dengue virus infection among Japanese travelers, 2006 to 2010. Western Pacific Surveillance and Response; Vol. 3, n°2: 1-7.
- Neto P.L., Navarro-Silva M. A.** (2004) Development, Longevity, Gonotrophic Cycle and Oviposition of *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae) under Cyclic Temperatures, Neotropical Entomology; Vol. 33, n°1: 29-33.
- Nicholls N.** (1993) El Nino-Southern Oscillation and vector-borne disease. Lancet; Vol. 342, n°8882: 1284-1285.
- Pan American Health Organization (PAHO)** (1993) PAHO Advisory: *Aedes albopictus* in the Caribbean, Epidemiology Bulletin; Vol.14, n°3: 1-16.
- Pan American Health Organization (PAHO)** (2007) Emerging and Reemerging Infectious Diseases, Region of the Americas Dengue in the Americas: 2007 Summary; Vol. 4, No. 8.
- Perera R., Kuhn R.J.** (2008) Structural proteomics of dengue virus. Current opinion in microbiology ; Vol. 11: 369–377.
- Phuong H. L., De Vries P. J., Boonshuyar C., Binh T. Q., Nam N. V., Kager P. A.** (2008) Dengue risk factors and community participation in Binh Thuan province, Vietnam, a household survey, Southeast Asian Journal Tropical Medicine Public Health; Vol. 39 n°1: 79-89.

**Pinheiro F.P., Corber S.J.** (1997) Global situation of dengue and dengue hemorrhagic fever, and its emergence in the Americas. *World Health Statistics Quarterly*; Vol. 50: 161-68.

**Pongsumpun P., Patanarapelert K., Sriprom M., Varamit S., Tang IM** (2004) Infection risks to travelers going to dengue fever epidemic regions. *Southern asian Journal Tropical Medicine Public Health*; Vol 35, n°1: 155-159.

**Pongsumpun P., Tang I. M.** (2005) Risk of infection to tourist visiting an dengue fever endemic region. *KMITL Science Journal*; Vol. 5, no. 2: pp.460-468.

**Potter R. B., T. Unwin** (1989) *The geography of urban-rural interaction in developing countries*, New York: Routledge.

**Purohit B.C.** (2001) Private initiatives and policy options: recent health system experience in India. *Health Policy Plan*; Vol. 16: 87-97.

**Quénel P.** (2008) Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane (BASAG)- Les réseaux de médecins sentinelles aux Antilles Guyane, n°10 : 2-4.

**Quénel P.** (2008) Bulletin d'Alerte et de Surveillance Antilles Guyane (BASAG)- La dengue dans les DFA- Aspects cliniques et épidémiologiques, n°4 : 1-5.

**Quénel P, Rosine J., Cassadou S., Ardillon V., Bateau A., Matheus S., Chappert J.-L., Flamand C., Carvalho L., Cardoso T., Chaud P., Dussart P., Ledrans M.** (2011) Épidémiologie de la dengue dans les Départements français d'Amérique. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*; n°33-34: 358-363.

**Queyriaux B.** (2007) Réchauffement climatique et maladies tropicales : que craindre pour demain ? *Médecine Tropicale*; Vol. 67: 467-470.

**Quinlan R.** (1993) C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann Publishers: 302 pages.

**Raviprakash K., Wang D., Ewing D., Holman D.H., Block K., Woraratanadharm J., Chen L., Hayes C., Dong J.Y., Porter K.** (2008) A Tetravalent Dengue Vaccine Based on a Complex Adenovirus Vector Provides Significant Protection in Rhesus Monkeys against all Four Serotypes of Dengue Virus. *Journal of Virology*; 6927–6934.

**Reiter, P., Lathrop S., Bunning M., Biggerstaff B., Singer D., Tiwari T., Baber L., Amador M., Thirion J., Hayes J., Seca C., Mendez J., Ramirez B., Robinson J., Rawlings J., Vorndam V., Waterman S., Gubler D., Clark G., Hayes E.** (2003) Texas lifestyle limits transmission of dengue virus. *Emerging Infectious Disease*; Vol.9: 86-89.

**Rey F.A.** (2003) Dengue virus envelope glycoprotein structure: New insight into its interactions during viral entry. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*; Vol. 100, n°12: 6899-6901.

- Richardson J., Molina-Cruz A., Salazar M. I., Black W.** (2006) Quantitative analysis of dengue-2 virus rna during the extrinsic incubation period in individual *Aedes Aegypti*, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene; Vol.74, n°1: 132–141.
- Rodhain F., Perez C.** (1985) Précis d'entomologie médicale et vétérinaire. Editions Maloine : 77-78.
- Rossignol D.** (1989) Régimes pluviométriques de la Guadeloupe, ORSTOM Centre de la Guadeloupe.
- Rowley WA, Graham C.L.** (1968) The effect of temperature and relative humidity on the flight performance of female *Aedes aegypti*. Journal of Insect Physiology; Vol. 14: 1251-1257.
- Sabin A.B.** (1952) Research on dengue during World War II. American Journal Tropical Medecine Hygiene; 1: 30–50.
- Salazar M.I., Loroño-Pino M.A., Farfán-Ale J.A., Olson K.E., Beaty B.J.** (2010) American and American/Asian genotypes of dengue virus differ in mosquito infection efficiency: candidate molecular determinants of productive vector infection Revista Biomedica; Vol. 21:121-135.
- Sampaio A.M.M., Kligerman D.C., Júnior S.F.** (2009) Dengue, related to rubble and building construction in Brazil. Waste management; Vol.29: 2867-2873.
- San Martín J.L., Brathwaite O., Zambrano B., Solórzano J.O., Bouckenoghe A., Dayan G.H., Guzmán M.G.** (2010) The Epidemiology of Dengue in the Americas Over the Last Three Decades: A Worrisome Reality. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, Vol. 82, n°1: 128–135.
- Saporta G.** (2006) Probabilités, analyse des données et statistiques. Editions Technip.
- Seng S.B., Chong A.K., Moore A.** (2005) Geostatistical modelling, analysis and mapping of epidemiology of dengue fever in Johor state, Malaysia, 17<sup>th</sup> annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC): 2.
- Setiati T.E., Wagenaar J.F.P., de Kruif M.D., Mairuhu A.T.A., van Gorp E.C.M., Soemantri A.** (2006) Changing epidemiology of dengue haemorrhagic fever in Indonesia. Dengue Bulletin; Vol.30: 1-14.
- Shepard D.S., Coudeville L., Halasa Y.A., Zambrano B., Dayan G.H.** (2011) Economic impact of dengue illness in the Americas. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene; Vol. 84, n°2: 200-207.
- Shultis E.** (2009) Bromeliads as a breeding site for the Dengue vector *Aedes aegypti*. ISP collection: 21.
- Siler J.F., Hall M.W., Hitchens A.P.** (1926) Dengue: its history, epidemiology, mechanisms of transmission, etiology, clinical manifestations, immunity and prevention. Philippine Journal Science; Vol. 29: 1–304.

**Silva-Nunes M., de Souza V.A., Pannuti C.S., Sperança M.A., Terzian A.C., Nogueira M.L., Yamamura A.M., Freire M.S., da Silva N.S., Malafronte R.S., Muniz P.T., Vasconcelos H.B., da Silva E.V., Vasconcelos P.F., Ferreira M.U.** (2008) Risk factors for dengue virus infection in rural Amazonia: population-based cross sectional surveys. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol.79, 485–494.

**Simmons J.S., St John J.H., Reynolds F.H.K.** (1931) Experimental studies of dengue. *Philippine Journal of Science*; Vol. 44: 1–247.

**Siqueira Jr. J.B., Martelli C.M., Maciel I.J., Oliveira R.M., Ribeiro M.G., Amorim F.P., Moreira B.C., Cardoso D.D., Souza W.V., Andrade A.L.** (2004) Household survey of dengue infection in central Brazil: spatial point pattern analysis and risk factors assessment. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*; Vol.71: 646–651.

**Sota T, Mogi M.** (1992) Interspecific variation in desiccation survival time of *Aedes* (*Stegomyia*) mosquito eggs is correlated with habitat and egg size. *Oecologia*; Vol. 90: 354-358.

**Spencer R.W., Christy J.R.** (1990) Precise monitoring of global temperature trends from satellites. *Science*; Vol. 247:1558–1562.

**Srivastava S., Gupta M. R., Frigyik B.A.** (2007) Bayesian Quadratic Discriminant Analysis. *Journal of Machine Learning Research*: 1277-1305.

**Stoddard S., Morrison A., Vazquez-Prokopec G., Paz-Soldan V., Kochel T. et Al.** (2009) The Role of Human Movement in the Transmission of Vector-borne Pathogens, *Plos Neglected Tropical Disease*; Vol. 3, n°7:1-9.

**Suaya J. A., Shepard D. S., Beatty M. E.** (2006) Dengue: Burden of disease and costs of illness. Working paper for the Scientific Working Group on Dengue Research, convened by the Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, Geneva.

**Sujariyakul A., Prateepko S-W, Chongsuvivatwong V., Thammapalo S.** (2005) Transmission of dengue haemorrhagic fever: at home or school? *Dengue bulletin*; Vol.29: 32 -40.

**Teixeira M.G., Barreto M.L., Costa M.C., Ferreira L.D., Vasconcelos P.F., Cairncross S.** (2002) Dynamics of dengue virus circulation: a silent epidemic in a complex urban area. *Tropical Medicine and International Health*; Vol.7: 757–762.

**Thai K.T.D., Nishiura H., Hoang P.L., Tran N.T.T, Phan G.T., Le H.Q., Tran B.Q., Nguyen N.V., de Vries P.J.** (2011) Age-Specificity of Clinical Dengue during Primary and Secondary Infections. *PLOS Neglected Tropical Diseases*; Vol. 5, n° 6: 1-9.

**Torres-Moreno J.M., Bougrain L., Alexandre F.** (2009) Combining Supervised and Unsupervised Learning for GIS Classification.

**Troyo A.** (2007) Analyses of dengue fever and *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae) larval habitats in a tropical urban environment of Costa Rica using geospatial and mosquito surveillance technologies, Thesis, University of Miami, 152 pages.

**Troyo A., Fuller D.O., Calderon-Arguedas O., Solano M.E., Beier J.C.** (2009) Urban structure and dengue incidence in Puntarenas, Costa Rica. *Singapore journal of tropical geography*; Vol. 30: 265-282.

**United Nations** (2004) *World Urbanization Prospects: The 2003 Revision*, New York. United Nations.

[http://www.un.org/esa/population/publications/wup\\_2003/WUP2003Report.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wup_2003/WUP2003Report.pdf).

**Van Benthem B. H. B., Khantikul N., Panart K., Kessels P. J., Somboon P., Oskam L.** (2002) Knowledge and use of prevention measures related to dengue in northern Thailand. *Tropical Medicine and International Health*; Vol.7, n°11: pp 993–1000.

**Van Benthem B.H.B., Vanwambeke S.O., Khantikul N., Burghoorn-Maas C., Panart K., Oskam L., Lambin E.F., Somboon P.**(2005) Spatial patterns of and risk factors for seropositivity for dengue infection. *The american society of tropical medicine and hygiene*; Vol. 72: 201-8.

**Van Eupen M., Metzger M.J., Pérez-Soba M., Verburg P.H., van Doorn A., Bunce R.G.H.** (2012) A rural typology for strategic European policies. *Land Use Policy*, Vol. 29: 473–482.

**Vanwambeke S. O., Bennett Shannon N., Kapan Durrell D.** (2011) Spatially disaggregated disease transmission risk: land cover, land use and risk of dengue transmission on the island of Oahu. *Tropical Medicine and International Health*; Vol. 16, no 2: 174–185.

**Vapnik V. N.** (2000) *The Nature of Statistical Learning Theory*. 2nd Edition, Springer Verlag.

**Vasconcelos, P.F., Lima, J.W., da Rosa, A.P., Timbo, M.J., da Rosa, E.S., Lima, H.R., Rodrigues, S.G., da Rosa, J.F.** (1998) Dengue epidemic in Fortaleza, Ceara: randomized seroepidemiologic survey. *Revista de Saude Publica*; Vol.32: 447–454.

**Vazquez-Prokopec G.M., Kitron U., Montgomery B., Horne P., Ritchie S.A.** (2010) Quantifying the Spatial Dimension of Dengue Virus Epidemic Spread within a Tropical Urban Environment. *PLOS neglected tropical diseases*; Vol.4, n°12: p.1-14.

**Walker T., Johnson P. H., Moreira L. A., Iturbe-Ormaetxe I., Frentiu F.D., McMeniman C. J., Leong Y. S., Dong Y., Axford J., Kriesner P., Lloyd A. L., Ritchie S. A., O'Neill S. L., Hoffmann A. A.** (2011) The wMel Wolbachia strain blocks dengue and invades caged *Aedes aegypti* populations. *Nature*; Vol. 476; 450-455.

**Watts D.M., Burke D.S., Harrison B.A., Whitmire R.E., Nisalak A.** (1987) Effect of temperature on the vector efficiency *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene; Vol.36, n°1: 143-152.

**Wei Y. , Qin C., Jiang T., Li X., Zhao H., Liu Z., Deng Y., Liu R., Che S., Yu M., Qin E.** (2009) The American Society of Tropical Medicine and Hygiene Translational Regulation by the 3' untranslated region of the dengue type 2 Virus Genome. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene; Vol. 81, n°5: 817–824.

**Wellmer H.** (1983) Dengue haemorrhagic fever in Thailand. Geomedical observations on development over the period 1970-1979. Berlin: Springer-Verlag:13-5.

**Welsch S., Miller S., Romero-Brey I., Merz A., Bleck C.K., Walther P., Fuller S.D., Antony C., Krijnse-Locker J., Bartenschlager R.** (2009) Composition and three-dimensional architecture of the dengue virus replication and assembly sites, Cell Host and Microbe; Vol. 5: 365–375.

**Whitehead S.S., Blaney J.E., Durbin A.P., Murphy B.R.** (2007) Prospects for a dengue virus vaccine, Nature Reviews Microbiology; Vol.5, n°7:518-528.

**Who** (1997) Dengue haemorrhagic fever: diagnosis, treatment, prevention and control. 2nd edition. Geneva : World Health Organization: 84 pages.

**Who** (2000) Dengue and dengue hemorrhagic fever. Global surveillance of epidemic prone infectious diseases. Geneva, World Health Organization.

**Who** (2005) Dengue, Dengue Haemorrhagic Fever and Dengue Shock Syndrome in the Context of the Integrated Management of Childhood Illness. 34 pages.

**Who** (2009) Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control.

**Who** (2009) Dengue and dengue haemorrhagic fever.

**Wiegandt A., Lastère S., Hirschaue C., Loncke S.**(2006) Provisional findings of dengue epidemiological surveillance in French Polynesia. Inform'Action.

**Wilder-Smith A., Gubler D.J.** (2008) Geographic expansion of dengue: the impact of international travel. Medical Clinics of North America; Vol. 92: 1377–1390.

**Wilson M.E., Chen L.H.** (2002) Dengue in the Americas. Dengue Bulletin Vol. 26: 45–61.

**Wu M., Sun L.V., Vamathevan J., Riegler M., Deboy R., Brownlie J.C., McGraw E.A., Martin W., Esser C., Ahmadinejad N., Wiegand C., Madupu R., Beanan M.J., Brinkac L.M., Daugherty S.C., Durkin A.S., Kolonay J.F., Nelson W.C., Mohamoud Y., Lee P., Berry K., Young M.B., Utterback T., Weidman J., Nierman W.C., Paulsen I.T., Nelson K.E., Tettelin H., O'Neill S.T., Eisen J.A.** (2004) Phylogenomics of the Reproductive Parasite *Wolbachia pipientis* wMel: A Streamlined Genome Overrun by Mobile Genetic Elements. *PLoS Biology*; Vol. 2, n°3: 327-341.  
<http://biology.plosjournals.org>.

**Wulder M.A., White J.C., Luther J.E., Strickland G., Remmel T.K., Mitchell S.W.** (2006) Use of vector polygons for the accuracy assessment of pixel based land cover maps. *Canadian journal remote sensing*, Vol. 32, n°3: 268-279.

**Yébakima A., Charles C., Mousson L., Vazeille M., Yp-Tcha M.M., Failloux A.-B.** (2004) Genetic heterogeneity of the dengue vector *Aedes aegypti* in Martinique. *Tropical Medicine and International Health*, Vol. 9, °n 5: 582–587.

**Yew Y.W., Ye T., Ang L.W., Ng L.C., Yap G., James L., Chew S.K., Goh K.T.** (2009) Seroepidemiology of dengue virus infection among adults in Singapore. *Annals Academy Medicine Singapore* Vol.38: 667–675.

**Zaninetti J-C.** (2005) *Statistique spatiale méthodes et applications géomatiques*. Lavoisier Editions; 320 pages.

**Zhou G., Lam S.-N. N.** (2008) Reducing Edge Effects in the Classification of High Resolution Imagery. *Photogrammetric engineering and remote sensing*: 431-441.

## **Annexes**

# Annexe 1

Extrait du tableau des données totales à analyser avec mailles (lignes) et variables (colonnes)

CODE	PID	ALEN	D_LOC	DISP	U_BRUT	U_NET	A	N	INTER_U	PPARLO	MENAGF	MENRET	FAMIE+	CHOM	AGREN	RET	AGR	ARTIS	CADRE	PROFINTE	EMPLOY	OUVRIEF	RP	LOGVA	RS_LOGV	INDIV	HABFOR	CASER	BOIS	DUR	!
L29-C13	37	2	225	10911	0	62500	0	10911	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C13	9	0	0	0	0	62500	0	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C13	12	0	0	0	0	62500	0	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L26-C13	50	23	451	10908	0	62500	0	10908	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L25-C13	174	0	0	1144	0	62500	0	1144	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L24-C13	412	118	22	16745	13281	49219	0	3464	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L23-C13	379	1086	16	61522	61522	617	361	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L22-C13	878	482	14	41652	41652	0	6923	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L30-C13	38	0	0	0	0	62500	0	0	3,62	10	27	69	40	8,5	26	11,4	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C13	4	0	0	114	0	62500	0	114	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C13	14	3	5	11149	0	62500	0	11149	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L30-C12	0	0	0	0	0	0	40442	0	3,58	9,3	25	71	41	8	25	11,8	6	1	8	28	30	81	11	7	96	8	20	9	62		
L29-C12	0	0	0	0	0	0	20890	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	0	0	0	0	0	0	61235	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C12	0	0	0	0	0	0	17906	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	0	0	0	0	0	12551	49949	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C12	0	0	0	0	0	0	59759	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C12	0	0	0	0	0	0	20054	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	0	0	0	0	0	46877	15623	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C12	0	0	0	0	0	15447	47053	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C12	0	0	0	0	0	0	62159	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L26-C12	0	0	0	0	0	0	9228	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	0	0	0	0	0	62500	0	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C12	0	0	0	0	0	25076	37424	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C12	0	1	146	7013	5429	2209	54863	1584	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L26-C12	0	0	0	0	0	0	22374	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	0	1	139	5868	0	62500	0	5868	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L28-C12	0	0	0	0	0	56815	5685	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C12	0	1	146	20776	19452	2409	40639	1324	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L26-C12	2	0	0	0	0	0	51182	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L25-C12	0	0	0	0	0	0	8094	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L29-C12	1	0	0	0	0	62400	100	0	3,61	9,3	26	70	40	8,4	26	11,4	6	1	9	29	29	80	12	8	96	7	18	8	65		
L28-C12	0	0	0	0	0	62500	0	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L27-C12	0	0	0	0	0	56154	6346	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		
L26-C12	0	0	0	0	0	21827	40673	0	3,62	10,1	27	69	40	8,6	26	11,3	6	1	9	29	28	79	12	8	96	7	17	8	66		

## Annexe 2

### « Questionnaire malade » Intervention autour d'un cas autochtone confirmé

Numéro Voozarbo (si cas confirmé) : .....

A remplir avec enquête sur le terrain, le cas a été signalé par :

Laboratoire (LABM)     Médecin généraliste     Médecin hospitalier     InVS

Autre    Préciser : .....

S'agit-il d'un cas suspect de (2 choix possibles) :     Dengue     Chikungunya

Date enquête : ..... / ..... / 2011

Enquêteur : .....

#### Coordonnées et identité du malade :

Nom et prénom du malade :

Date de naissance : ..... / ..... / .....

ou Age : .....

Coordonnées détaillées ou l'on peut joindre cette personne :

#### Caractéristiques cliniques du malade :

Depuis 3 mois, avez-vous présenté les signes suivants\* :

- Fièvre d'apparition brutale (> 38,5°C) :     Oui     Non     Nsp
- Maux de tête (céphalées) :     Oui     Non     Nsp
- Douleurs articulaires :     Oui     Non     Nsp
- Douleurs musculaires :     Oui     Non     Nsp
- Douleurs lombaires :     Oui     Non     Nsp
- Absence de point d'appel infectieux <sup>a</sup> :     Oui     Non     Nsp

<sup>a</sup> (toux, écoulement nasal, maux de gorge, difficultés respiratoires, plaies infectées...)

\* Un cas suspect de dengue est défini par une fièvre d'apparition brutale (>38,5°C) et au moins un signe algique (céphalées, arthralgies, myalgies, lombalgies, douleurs rétro orbitaires) en l'absence de tout point d'appel infectieux

\* Un cas suspect de chikungunya est défini par une fièvre d'apparition brutale (>38,5°C) et des douleurs articulaires invalidantes en l'absence de tout point d'appel infectieux

Date de début des signes cliniques : ..... / ..... / 2011

Avez-vous présenté d'autres signes cliniques :

- Nausées/ Vomissements :     Oui     Non     Nsp
- Éruption cutanée :     Oui     Non     Nsp
- Douleur derrière les yeux :     Oui     Non     Nsp
- Autres (précisez) : .....

Avez-vous consulté un médecin ?     Oui     Non     Nsp

Si OUI, nom du médecin traitant : .....

Avez-vous séjourné à l'hôpital ?     Oui     Non     Nsp

Si OUI, préciser le nom de l'hôpital et du service : .....

Date d'admission à l'hôpital : ..... / ..... / 2011

Vous a-t-on fait un prélèvement sanguin ?     Oui     Non     Nsp

Si OUI, préciser dans quel laboratoire : .....

Date de prélèvement : ..... / ..... / 2011

Résultats de sérologie disponibles :     Oui     Non     Nsp

Résultat de la sérologie :     Positive     Négative     Nsp

**Recherches d'expositions :**

Avez-vous séjourné hors de ce domicile dans les 15 jours précédant le début de la fièvre ?

- Oui       Non       Nsp

Si OUI préciser les lieux fréquentés :

- Travail : .....

.....

- Vacances / Voyages : .....

.....

- Loisirs : .....

.....

.....

- Autres : .....

.....

.....

.....

Avez-vous été piqué par un moustique ?       Oui       Non       Nsp

Si OUI, préciser :     à votre domicile     au travail     autre (préciser) :

.....

Avez-vous connaissance d'autres personnes malades dans votre entourage ?

- Oui       Non       Nsp

Si OUI, préciser (qui, quand et où ?) : .....

.....

.....

.....

Annexe 3



**Ensemble  
Agissons contre la dengue !**



**Les moustiques peuvent transmettre  
LA DENGUE !**

**Adoptons les bons gestes !**



**NETTOYEZ**



**COUVREZ**



**VIDEZ**



**JETEZ**



Information et signalement de gîtes  
**0596-67-15-15**  
Prix d'un appel local