UNIVERSITÉ DES ANTILLES. MARTINIQUE
FACULTÉ DE SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES.
Master 2. Géographie, Aménagement, Environnement et Développement.
Diagnostic Territorial et Gestion des Espaces Insulaires.

Urbanisme bioclimatique en milieu tropical :

Une approche écosystémique axée sur la santé

MÉMOIRE DE MASTER 2
Année universitaire 2022 - 2023

Présenté par **Melissa BOIS BETANCOURT**
Sous la direction du **Pr. Pascal SAFFACHE**
Date de soutenance : **5 juin 2023**

« Le monde ne sera pas détruit par ceux qui font le mal, mais par ceux qui les regardent sans rien faire » Albert Einstein.

REMERCIEMENTS

Ce présent mémoire est le résultat de nombreuses heures de travail, je souhaite ainsi adresser mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide lors de la réalisation de mes travaux.

Je tiens tout d'abord à remercier mon mari Oscar BOIS pour son soutien inconditionnel sur le plan émotionnel et moral ainsi que pour la relecture de ce mémoire et son aide dans l'amélioration de certaines phrases.

Mes sincères remerciements à mon directeur de mémoire, monsieur Pascal SAFFACHE, coordinateur du master et professeur de l'Université des Antilles, pour son encadrement, son aide et ses conseils face aux questions soulevées par mon sujet de recherche.

Je remercie également madame Julia HIDALGO, climatologue et chercheuse au LISST, Laboratoire Interdisciplinaire, Solidarités, Sociétés, Territoires à Toulouse, pour sa disposition à répondre à mes questions et la mise en relation avec des professionnels du milieu.

Je remercie particulièrement monsieur Arnaud JEAN-CHARLES, professeur de l'Université des Antilles, qui a répondu à mes questions sur les données géographiques.

J'adresse mes remerciement à l'équipe de KEBATI, une association engagé dans la qualité environnementale des bâtiments en Martinique, pour la mise à disposition de leurs équipements de mesures climatiques, utilisés lors de mon travail de terrain.

Je voudrais exprimer ma gratitude envers Monsieur Yoann PELIS, intervenant de l'Université des Antilles, qui m'a transmis des ressources et des conseils en la matière, ainsi que des bases de données géographiques.

Merci à Monsieur Olivier DEHOORNE, professeur à l'Université des Antilles, qui m'a orienté dans la réalisation de la bibliographie.

Pour terminer, je souhaite remercier toutes les personnes qui, de manière directe ou indirecte, ont tout autant ont pu contribuer à la réalisation de ce mémoire.

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : Déterminants de la santé selon Marc Lalonde 9

Figure 2 : Évolution historique des enjeux de santé-environnement au regard de l'urbanisme (depuis le XIXe siècle) 11

Figure 3 : Principes de la charte d'Ottawa pour la promotion de la santé 12

Figure 4 : Les déterminants de santé sur lesquels les choix d'aménagement sont susceptibles d'agir..... 14

Figure 5 : Échelles du climat urbain montrant la couche limite urbaine (CLU) ainsi que certains processus et effets du microclimat urbain. 15

Figure 6 : Phénomènes physiques pour les transfert de chaleur et albédo par type de matériaux..... 16

Figure 7 : Température quotidienne moyenne de l'air et humidité relative pendant les épisodes de chaleur létale..... 18

Figure 8 : Nombre de jour dépassant le seuil de conditions climatiques potentiellement mortelles en 2050. 19

Figure 10 : Exemple d'espaces piétons à New York. High Line par Diller Scofidio + Renfro 30

Figure 11 : Manifestations chez une personne exposée à une température élevée..... 32

Figure 12 : Les modalités des flux de chaleur entre un corps humain et son environnement 33

Figure 13 : Personnes sensibles à la chaleur et à la pollution atmosphérique..... 33

Figure 14 : Étagement bioclimatique et effet fohen (à gauche). Effets catabatiques et anabatiques (à droit). ... 35

Figure 15 : Principes pour favoriser l'ombrage au milieu urbain..... 39

Figure 16 : Schéma d'un canyon urbain et gains de rayonnement selon le SVF 40

Figure 17 : Phénomènes du vent en milieu urbain 41

Figure 19 : Dispositifs de végétalisation permettant de gérer l'ICU et les eaux pluviales..... 45

Figure 20 : Carte bioclimatique d'Olgyay 46

Figure 21 : Échelle de l'indice de chaleur (HI) 47

Figure 22 : Échelle de l'indice WGBT (Wet Bulb Globe Temperature)..... 48

Figure 23 : Éléments de la procédure opérationnelle et du concept d'UTCI..... 49

Figure 24 : Echelle de l'UTCI avec la calibration pour climat tropical réalisé par Virginie Grosdemouge 49

Figure 25 : Echelle de l'indicateur PET avec la calibration pour climat tropical réalisé par Virginie Grosdemouge..... 50

Figure 26 : Densité de la population, bâtiments et taux d 'urbanisation. 52

Figure 27 : Population de 75 ans et plus 2015 52

Figure 28 : Structure de la population en Martinique en 2020 et 2050..... 52

Figure 29 : Part de la population souffrant d'une maladie chronique ou morbidité 2019. 53

Figure 30 : Nombre de décès tous âges, selon la cause en 2015 et taux de mortalité par communes. 54

Figure 31 : Indicateurs sur l'alimentation et l'activité physique, population de 15 ans ou plus 54

Figure 32 : Taux de pauvreté selon le territoire et l'âge du référent fiscal des ménages (2018). 55

Figure 33 : La médiane du revenu 56

Figure 34 : Le taux de chômage annualisé en Martinique (2019) 56

Figure 35 : Carte bioclimatique de la Martinique. 57

Figure 38 : Nombre de jours de chaleur mortelle à Martinique en 2050 et 2100 dans 2 scénarios d'atténuations de GES. 58

Figure 36 : Températures moyennes annuelles maximales (normales 1971-2000). 58

Figure 37 : Températures moyennes annuelles maximales (scénario RCP 4.5, 2071-2100). 58

Figure 39 : Cumul de pollution environnementale (à gauche) et pollution automobile NO_2 (à droite). 59

Figure 40 : Températures mensuelles 2019 au Lamentin vs Indice ATMO mensuelles 2019. 60

Figure 41 : Classification des déterminants par type, moyens de collecte et représentation de données. 66

Figure 42 : Localisation de la zone d'étude 67

Figure 43 : Carte de morphologie et direction de vents d'Anse Madame 73

Figure 44 : Carte de hauteurs d'Anse Madame 74

Figure 45 : Carte d'usage de sols d'Anse Madame 74

Figure 47 : Carte du réseaux de bus Anse madame 75

Figure 46 : Carte de mobilité d'Anse Madame 75

Figure 48 : Carte de l'espace public d'Anse Madame 76

Figure 49 : Carte de l'espace végétalisé d'Anse Madame 77

Figure 50 : Graphique de la trajectoire solaire au Quartier l'Anse Madame 79

Figura 51 : Outils de mesures climatiques 80

Figure 52 : Itinéraire pour la prise de mesures climatiques à Anse Madame et outils de mesures. 81

Figure 53 : Cartes de températures de l'air - Anse Madame 83

Figure 54 : Cartes de températures ambiants - Anse Madame 84

Figure 55 : Cartes de températures de rayonnement - Anse Madame 85

Figure 56 : Cartes d'humidité - Anse Madame 86

Figure 57 : Cartes de vitesse de l'air - Anse Madame 87

Figure 58 : Cartes de l'indice de chaleur (HI) - Anse Madame 88

Figure 59 : Synthèse des moyennes des données collectées à Anse Madame. 89

Figure 60 : Moyennes des variables météorologiques dans le quartier d'Anse Madame 92

Figure 61 : Moyennes des Indicateurs de confort thermique sur Anse Madame 93

Figure 62 : Carte de matériaux des sols et revêtement des surfaces. 94

Figure 63 : Relations majoritaires entre les variables climatiques - "Élevée et basse" par rapport aux piques de variation enregistrés. 100

LISTE D'ANNEXES

Annexe 1.
Fiche résumé données climatiques de la Martinique 118

Annexe 2.
Fiche résumé équipements et professionnels de santé 119

Annexe 3.
Enquête par questionnaire réalisé à Anse Madame 120

Annexe 4.
Tableaux de mesures climatiques - Anse Madame 121

TABLE DE MATIÈRES

INTRODUCTION 7

AVANT PROPOS 8

I / INTÉGRATION DES CRITÈRES DE CONFORT THERMIQUE ET LA SANTÉ DES HABITANTS DANS LES POLITIQUES D'AMÉNAGEMENT. 9

CHAPITRE 1 : Liens entre changement climatique, aménagement urbain et santé. 9

1. L'évolution de l'urbanisme en matière de santé 10
2. Les îlots de chaleur urbains (ICU) et l'impact sur la santé 14
3. Les enjeux des villes tropicales face à l'augmentation des températures 19

CHAPITRE 2 : Politiques d'aménagement pour minimiser le risque de stress thermique en milieu urbain et favoriser le bien-être 21

1. Cadre réglementaire climat - urbanisme - santé 21
2. La décarbonation : Le potentiel des énergies renouvelables des villes insulaires et tropicales. 23
3. Mobilité durable et système de transport performant 25

II / L'URBANISME BIOCLIMATIQUE EN CLIMAT TROPICAL : PRINCIPES ET PARAMÈTRES POUR UN AMÉNAGEMENT SAIN ET ATTÉNUANT DE LA CHALEUR 31

CHAPITRE 3 : Comprendre le climat et son environnement pour mieux s'adapter 31

1. Les déterminants de la santé susceptibles à la chaleur 31
2. Généralité sur la notion bioclimatique 35
3. L'espace public, un régulateur du climat urbain et promoteur de santé 37
4. Les principes de conception bioclimatique qui favorisent la santé et le bien-être 37
4. Outils et indicateurs du confort thermique 46

III / SANTÉ - CLIMAT - ENVIRONNEMENT : UN APPROCHE ÉCOSYSTÉMIQUE DE L'AMÉNAGEMENT URBAIN 51

CHAPITRE 4 : État des lieux à l'échelle de Martinique 51

CHAPITRE 5 : Diagnostic urbain face au risque de stress thermique en climat tropical 61

1. Présentation d'un outil d'aide à la décision basé sur les déterminants de la santé liés à la chaleur urbaine 61
2. Outils de collecte et représentation des données 66

CHAPITRE 6 : Application de la matrice d'évaluation : Étude de cas Anse Madame, Schoelcher 67

1. Déterminants biologiques 68
2. Déterminante socio-économiques | Style de vie 70
3. Déterminants environnementaux | Cadre de vie 73
4. Résultats du diagnostic du quartier Anse Madame 102

CONCLUSION 105

BIBLIOGRAPHIE 106

ANNEXES 117

INTRODUCTION

Dans un futur proche, notre planète sera largement urbanisée, avec 68 % de la population vivant dans des villes d'ici 2050, selon un rapport des Nations Unies (Actualités de l'ONU, 2018). Cependant, cette croissance urbaine excessive s'accompagne de conséquences climatiques dramatiques, mettant en péril tant les espèces que l'humanité elle-même. Le secrétaire général de l'OMM, Petteri Taalas, nous alerte sur les effets dévastateurs de l'augmentation des températures : fonte des glaces, élévation du niveau de la mer, vagues de chaleur et phénomènes météorologiques extrêmes. Ces changements ont des répercussions majeures sur la sécurité alimentaire, la santé, l'environnement et le développement durable.

Face à ces défis de grande envergure, les villes tropicales se retrouvent confrontées à deux enjeux majeurs : s'adapter pour réduire leur vulnérabilité face à ces menaces grandissantes, et simultanément, réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). Dans ce contexte, les microclimats urbains exercent une influence décisive sur la qualité de vie des citoyens, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments. Dans le cadre d'une initiative visant à promouvoir l'utilisation de la ventilation naturelle dans l'architecture et à encourager les espaces publics favorables à la mobilité douce, nous réalisons l'importance cruciale du confort thermique dans les espaces extérieurs des environnements urbains. C'est un sujet primordial qui nécessite une attention immédiate et des solutions innovantes pour façonner des villes tropicales résilientes, durables et agréables à vivre pour tous.

L'objectif de cette recherche est d'explorer les relations complexes entre la chaleur, la santé et l'environnement afin d'orienter de manière plus efficace la planification urbaine. Pour répondre à cette finalité, nous avons entrepris une étude exhaustive de la littérature, en examinant les différents déterminants de santé liés à la surchauffe urbaine. Cette analyse approfondie nous a permis de sélectionner deux concepts urbanistiques qui mettent l'accent sur trois principes essentiels : le confort thermique en extérieur, la réduction de la consommation d'énergie et le bien-être des citoyens. Ces deux concepts sont l'urbanisme bioclimatique et l'urbanisme favorable à la santé (UFS).

Partant de ce postulat, nous cherchons à adapter ces principes sur l'île de la Martinique, en vue de créer des villes bioclimatiques résistantes aux effets de la surchauffe urbaine. En d'autres termes, des villes résilientes face au risque de stress thermique.

Comme résultat de cette expérience, nous cherchons à déterminer des paramètres de référence et à formuler de préconisations de rafraîchissement adaptées à l'environnement urbain. Pour ce faire, nous élaborons un diagnostic sous la forme d'une grille d'analyse comprenant des indicateurs qualitatifs et quantitatifs qui peuvent contribuer à l'efficacité de l'urbanisme bioclimatique.

AVANT PROPOS

Ces derniers temps, les villes fortement urbanisées sont de plus en plus préoccupées par les conséquences du réchauffement urbain sur la santé. Les liens entre le climat et ces problématiques semblent de plus en plus évidents, avec des effets néfastes tels que les maladies respiratoires, les cancers de la peau, les lésions oculaires et le stress thermique. Aujourd'hui, “près de la moitié de la population mondiale habite les villes où les effets des fortes chaleurs et de la pollution atmosphérique sont très fortement ressentis.” (W-J. Burroughs, 2001) L'Organisation mondiale de la santé (OMS) rapporte que le changement climatique est responsable d'au moins 150 000 décès par an, chiffre qui devrait doubler d'ici à 2030. “Parmi les conséquences graves, on peut citer : maladies infectieuses transmises par les insectes, vagues de chaleur, perte de la productivité agricole, asthme et autres maladies respiratoires” (Paritosh, K. United Nations).

Les villes d'aujourd'hui sont extrêmement vulnérables à l'augmentation des températures en raison de leur configuration urbaine. Caractérisé par la densité des bâtiments, les sols majoritairement minéralisés, les matériaux qui absorbent la chaleur, un manque de végétation et la présence de véhicules motorisés, l'aménagement urbain crée des microclimats connus sous le nom d'îlots de chaleur urbains (ICU). Ce phénomène tend à s'aggraver avec le temps, entraînant une intensification et une fréquence accrue des vagues de chaleur. L'exposition croissante de la population à des températures élevées entraîne des risques accrus pour la santé (Vancamp, 2019; Denis, 2010).

Par ailleurs, parmi les divers phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, la température humide est un paramètre à surveiller. La température humide (Tw) tient compte à la fois de la chaleur et de l'humidité et, dans des conditions extrêmes, peut altérer le système de thermorégulation du corps humain. Selon un article publié dans le site de Science Advances (C. Raymond), une température humide de 35°C est le seuil mortel pour l’homme.

Il est clair que plus la température augmente, plus la consommation d'énergie est nécessaire. Par conséquent, les émissions de gaz à effet de serre continueront à réchauffer la planète et accentueront les menaces liées au changement climatique.

Face à cette situation préoccupante, plusieurs questions essentielles se posent concernant les villes insulaires : Comment l'urbanisme bioclimatique favorable à la santé peut-il atténuer l'impact de la surchauffe urbaine et assurer un développement durable ? Pourquoi le concept du confort thermique en milieu urbain est-il crucial pour lutter contre la surchauffe urbaine ? Comment peut-on réduire la température en milieu urbain de manière efficace ? De quelle manière la climatologie urbaine peut-elle être intégrée dans la conception d'un urbanisme bioclimatique ? Comment les principes de l'architecture bioclimatique peuvent-ils être adaptés à la ville pour la rendre véritablement bioclimatique ?

I / Intégration des critères de confort thermique et la santé des habitants dans les politiques d'aménagement.

CHAPITRE 1 : Liens entre changement climatique, aménagement urbain et santé.

Autour du phénomène de la surchauffe urbaine, il existe plusieurs disciplines qui interviennent. De multiples travaux ont été développés dans le domaine de l'architecture, l'ingénierie, la médecine, la climatologie urbaine, la politique et l'urbanisme. (Escourrou, 1984 ; Vinet, 2000 ; Maignant, 2007 ; Pacteau, Denis, 2010 ; M. Daniel, 2017 ; Hidalgo, 2021 ; ONERC ; GIEC, 2021, …). Cependant chacune de ces expertises abordent le problème indépendamment sans interconnecter les facteurs susceptibles d'améliorer ou d'empirer les impacts sur la santé.

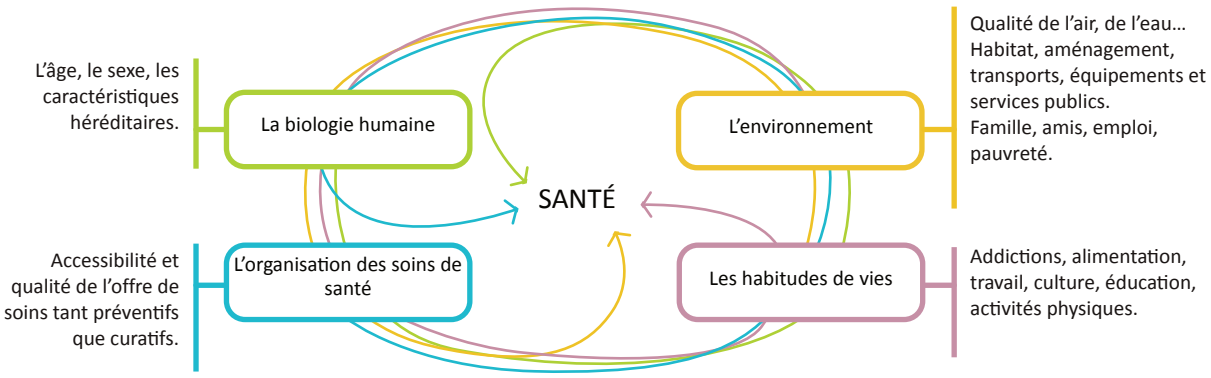
La finalité de cette recherche est de réaliser une analyse de la surchauffe urbaine et de sa relation avec la santé en se focalisant sur le rôle de l'aménagement, afin d'offrir une alternative d'adaptation pouvant améliorer les conditions du milieu urbain et rendre la ville plus agréable à vivre.

Le concept de santé a été décrit par Leroche comme "la vie dans le silence des organes" (Leroche, 1937). Quelques années plus tard, l'OMS (1946) va la définir comme "un état de complet bien être, physique, mental et social et pas seulement l'absence de maladie et d'infirmité". Mais en 1989, L'UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund) complète cette idée en estimant que "la santé n'est pas l'absence de maladie, c'est un sentiment plus profond que le bien être qui ne dépend pas seulement des services de santé mais du travail, du revenu, de l'éducation, de la culture, des droits et des libertés" (L'UNICEF, 1989).

Avec les inquiétudes liées aux causes qui déterminent la santé, Marc Lalonde, ancien ministre de la santé canadien, développe un modèle explicatif en 1974. Il décrit quatre déterminants dans le document "nouvelles perspectives de la santé des canadiens" : le style de vie et les comportements liés à la santé, la biologie humaine, l'environnement et les systèmes de gestion sanitaire (Figure 1).

Figure 1 :

Déterminants de la santé selon Marc Lalonde



Note : Critères qui composent chaque déterminant de la santé selon Marc Lalonde. Élaboration propre.

Grâce à cette analyse, Lalonde a réussi à démontrer que la majorité des morts était occasionnée par des déterminants autres que l'organisation des soins de santé, une évidence qui a servi à reconsidérer les dépenses fédérales en priorisant la prévention.

A partir de là, l'état de santé va s'analyser de façon plus holistique. Par la suite d'autres modèles plus détaillés ont été réalisés. En 1991, le modèle de Whitehead et Dahlgren a permis d'organiser les déterminants de la santé en quatre sphères : les facteurs individuels, les influences sociales et locales, les facteurs matériels et structurels et les conditions socio-économiques, culturelles et environnementales. En 2010, le cadre conceptuel du ministère de la santé et des services sociaux du Canada a proposer une autre structure autour de cinq groupes : Le contexte global, les systèmes, le milieu de vie, les caractéristiques individuelles et l'état de santé de la population. (MSSS, 2010). Chacune des sphères ou chacun des groupes, se décline en plusieurs catégories pour pouvoir obtenir des indicateurs d'évaluation. Ces deux modèles nous montrent le niveau de complexité dans la définition de la santé et tous les facteurs à considérer dans la conception d'une ville favorable à la santé. D'un côté les facteurs protecteurs qui visent l'amélioration de l'état de santé et de l 'autre, les facteurs de risques qui au contraire vont la dégrader. Le niveau de santé d'une population va dépendre de l'interaction entre ces multiples déterminants et c'est grâce à l'analyse de ces derniers que la ville peut mettre en place des dispositifs de prévention, d'éducation, d'aménagement et de soin pour améliorer la santé de la population.

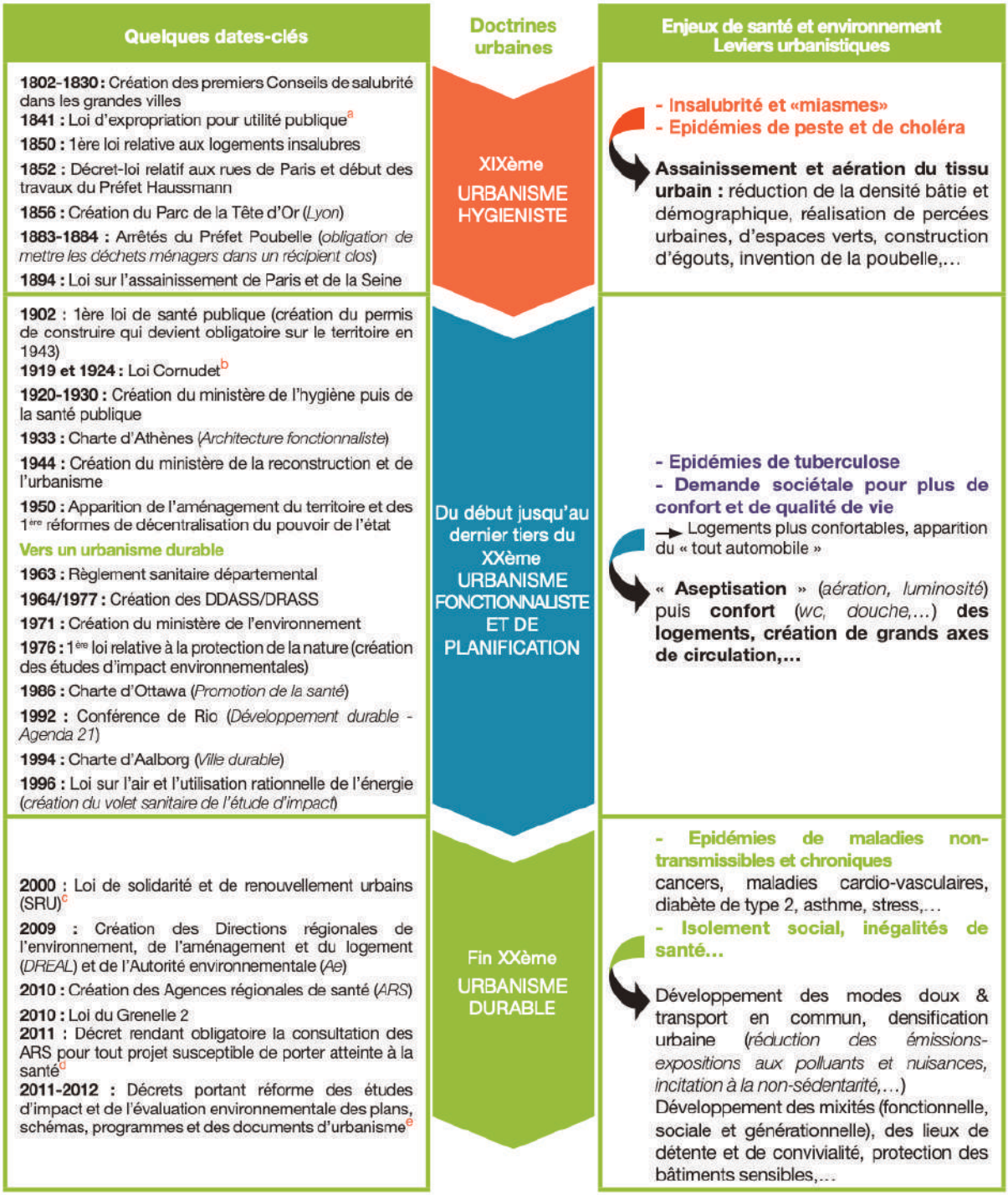
1. L'évolution de l'urbanisme en matière de santé

L'histoire de nos villes nous laisse percevoir les liens entre l'urbanisme et la santé. La Figure 2 montre comment l'aménagement a eu un rôle très important pour combattre les épidémies de peste et de choléra au XIX^{e} siècle, puis contre la tuberculose au début du XX^{e} siècle. Les réponses urbaines ont émergé dans le monde à des moments historiques spécifiques, prenant la forme de concepts tels que la ville hygiéniste, la ville fonctionnaliste basée sur l'industrie et la ville stimulante dans une ère post-moderniste. Paradoxalement, ce sont des solutions qui, du fait de l'urbanisation extrême, ont contribué à créer d'autres problèmes de santé publique (Roué Le Gall & Le Gall, 2013, p. 28).

Dans le cadre de cette prise de conscience croissante, une première conférence internationale a été organisée à Ottawa en 1986 par l'Organisation mondiale de la santé et le gouvernement canadien. Cette importante réunion a donné lieu à la Charte d'Ottawa, un document de référence international présentant les stratégies et les méthodes fondamentales de la promotion de la santé. Lors de cette conférence, la santé a été décrite comme "une ressource de la vie quotidienne, et non comme le but de la vie" (Agence de la santé publique du Canada, 2014), car elle permet le progrès social, économique et individuel.

Figure 2 :

Évolution historique des enjeux de santé-environnement au regard de l'urbanisme (depuis le XIX^e siècle)

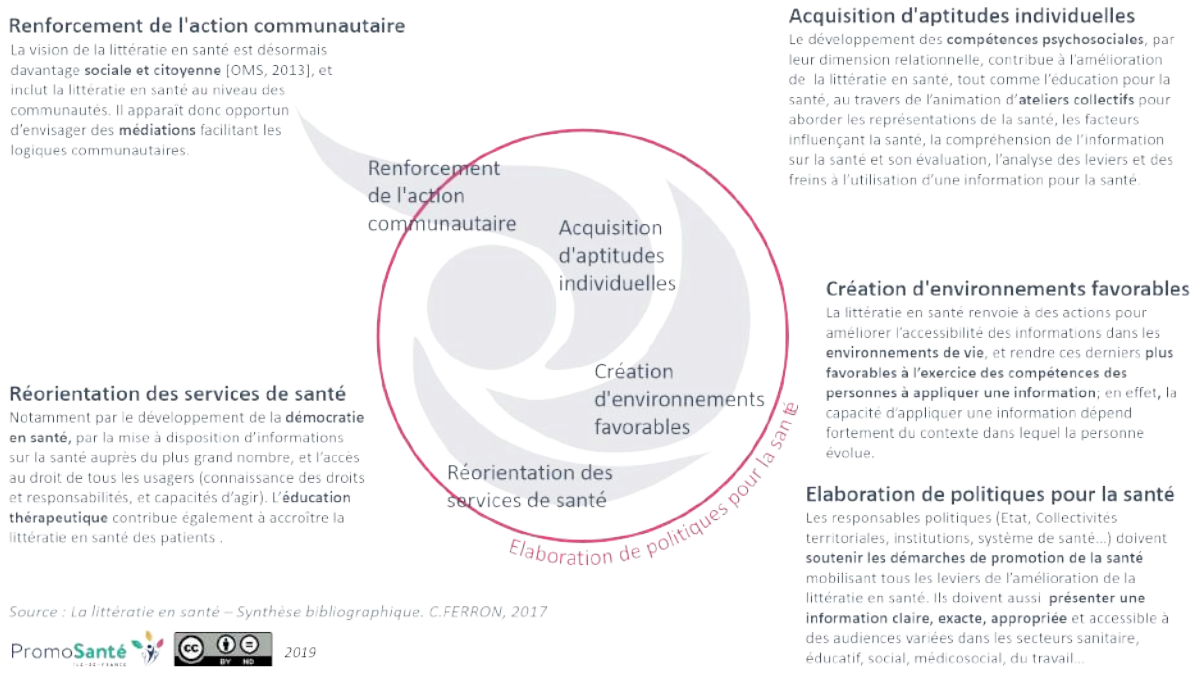


Note : Reproduit à partir de "Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils", Roué Le Gall, A., & Le Gall, J. 2013, p. 28.

À cet effet, la Charte recommande l'intervention en faveur de la promotion de la santé à travers l'élaboration de politiques publiques saines qui dépassent les soins médicaux traditionnels visant le renforcement de l'action communautaire, la réorientation des services de santé, l'acquisition d'aptitudes individuelles et la création des milieux favorables à la santé. (Voir figure 3).

Figure 3 :

Principes de la charte d'Ottawa pour la promotion de la santé



Note : Reproduit à partir de "La litteratie en santé - Synthèse bibliographique" Ferron, 2017. https://www.promosante-idf.fr/file/64579

À la suite de l'adoption de la Charte, l'OMS a lancé le programme Villes-Santé. L'objectif de ce programme est de mettre en place les principes de la santé établis à l'échelle mondiale, mais à l'échelle de la ville, en visant à "offrir des biens et des services plus sûrs et plus sains, des services publics qui favorisent davantage la santé et des environnements plus propres et plus agréables" tout en respectant la diversité des populations (Charte d'Ottawa, 1986). "Penser global, agir local" (Dubos, 1972)

Ce programme, pionnier dans les réflexions autour de l'urbanisme et la santé, a été lancé par onze villes d'Europe dont une de France. Aujourd'hui, le réseau national compte 104 villes et intercommunalités engagées pour la santé. Sur le territoire martiniquais, Fort-de France et Le Lamentin en font partie.

D'après la présidente du réseau français en 2020, le programme initialement axé sur la mise en place d'évaluations d'impact de la santé (EIS) s'est élargi pour fournir des ressources aux acteurs de projets urbains. Ces ressources comprennent une assistance en gestion de projet permettant de

prendre en compte les déterminants de la santé impactés par ces projets (Marchandise-Fraquet, 2020). Depuis l'intégration du concept d'***urbanisme favorable à la santé (UFS)***, l'urbanisme et l'aménagement ont été repositionnés comme des facteurs clés de la santé et de l'environnement.

Ainsi, il est essentiel que ces acteurs travaillent en collaboration pour prendre en compte les impacts potentiels des projets urbains sur la santé des populations. C'est pourquoi la mise en place d'une approche intersectorielle est primordiale pour promouvoir des politiques publiques qui favorisent la santé et réduisent les inégalités en matière de santé. Par conséquent, il est important que chacun comprenne son rôle et sa responsabilité dans la promotion de la santé dans les projets urbains.

Aujourd'hui, les effets du changement climatique mettent en évidence l'inefficacité du modèle d'urbanisation développé dans les années précédentes, marquée par l'imperméabilisation des sols, l'utilisation de l'automobile, la division d'usages et la croissance économique. La réévaluation de ces modèles doit changer pour résoudre les problèmes sanitaires récents qui concernent la santé des habitants et des pathologies comme les maladies chroniques.

Pour soutenir cette approche, le groupe de travail multidisciplinaire de l'Ecole des hautes études en santé publique (EHESP), a créé en 2013 un guide d'urbanisme favorable à la santé. Grâce à ce guide, le concept d'UFS a été compris et adopté par les différents acteurs impliqués dans les projets urbains.

Huit axes d'actions ont été définis pour agir en faveur d'un urbanisme favorable à la santé :

1. Encourager des modes de vie favorables à la santé, notamment l'activité physique et l'accès à une alimentation saine et durable.
2. Promouvoir la cohésion sociale et le bien-être des habitants, en offrant à chacun des possibilités de logement, de mobilités et d'activités récréatives notamment dans les espaces publics.
3. Faciliter l'accès à l'emploi, l'accès aux équipements et services dont le soin et les services sociosanitaires.
4. Réduire les risques liés aux polluants et aux nuisances, notamment en protégeant et valorisant les milieux et les ressources naturelles.
5. Réduire les inégalités sociales et environnementales de santé, avec une attention particulière aux personnes en situation de vulnérabilité.
6. Soulever les antagonismes et veiller à l'articulation des différentes politiques publiques au regard de leurs impacts sur la santé.
7. Mettre en place des stratégies favorisant l'intersectorialité et l'implication de l'ensemble des acteurs concernés, dont les citoyens.
8. Penser un projet adapté aux spécificités locales et adaptable aux évolutions sociétales et environnementales (ex : modes de vie, changement climatique, transition énergétique).

Par la suite, le guide ISadOrA a été publié en 2020 en tant qu'outil d'urbanisme opérationnel, dans la continuité des travaux précédents. Ce guide s'appuie sur une large analyse des déterminants de la santé, qui ont été organisés en 15 catégories et en 4 familles : Environnement physique / Qualité des milieux ; Environnement physique / Cadre de vie ; Environnement socio-économique ; Style de vie et Capacités individuelles (Barton et al, 2006 ; Roué Le Gall & Le Gall, 2013) (Voir figure 4). L'un de ces déterminants est l'adaptation au changement climatique, qui inclut l'évaluation des îlots de chaleur urbains (ICU).

Figure 4 :
Les déterminants de santé sur lesquels les choix d'aménagement sont susceptibles d'agir

Note : Reproduit à partir du Guide IsadOrA : une démarche d'accompagnement à l'Intégration de la Santé dans les Opérations d'Aménagement urbain, EHESP, mars 2020.

2. Les îlots de chaleur urbains (ICU) et l'impact sur la santé

L'influence de l'urbanisation perturbe les caractéristiques atmosphériques aux échelles locales modifiant les échanges de chaleur, d'humidité, de masse, les vents, les précipitations, les quantités de mouvements entre la surface de la terre et les premières couches de l'air (Hidalgo, 2020). La surchauffe urbaine s'exprime donc dans un environnement urbain qui est minéralisé, qui absorbe la chaleur et qui impacte le ressenti thermique de la population.

Ces modifications créent une sorte de microclimat urbain appelé : l'îlot de chaleur urbain (ICU). Ce phénomène agit comme un dôme thermique où les températures sont significativement plus élevées, « plus on s'approche du centre de la ville, plus l'air est dense et haut, et plus la température monte. Selon une étude publiée en mars 2018 dans Physical Review Letters, aux États-Unis, le phénomène d'îlot de chaleur urbain concerne plus de 80% de la population vivant dans les zones urbaines » (Magdelaine, 2021).

Ces écarts trouvent leur explication dans de multiples facteurs (voir figure 5) :

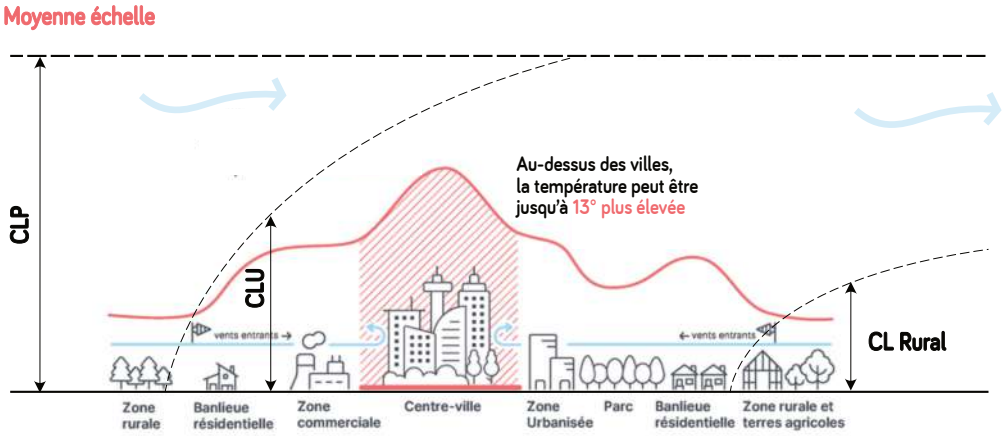
- La concentration de nombreuses activités humaines émettrices de chaleur.
- Matériaux urbains ayant une plus forte capacité à capturer la chaleur que les milieux naturels.

- Densité urbaine, engendrant des phénomènes de réflexion des rayonnements infrarouges et faisant obstacle à la circulation de l'air
- Présence moindre de la nature et d'eau dans les sols (en raison de l'imperméabilisation), minimisant les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration.

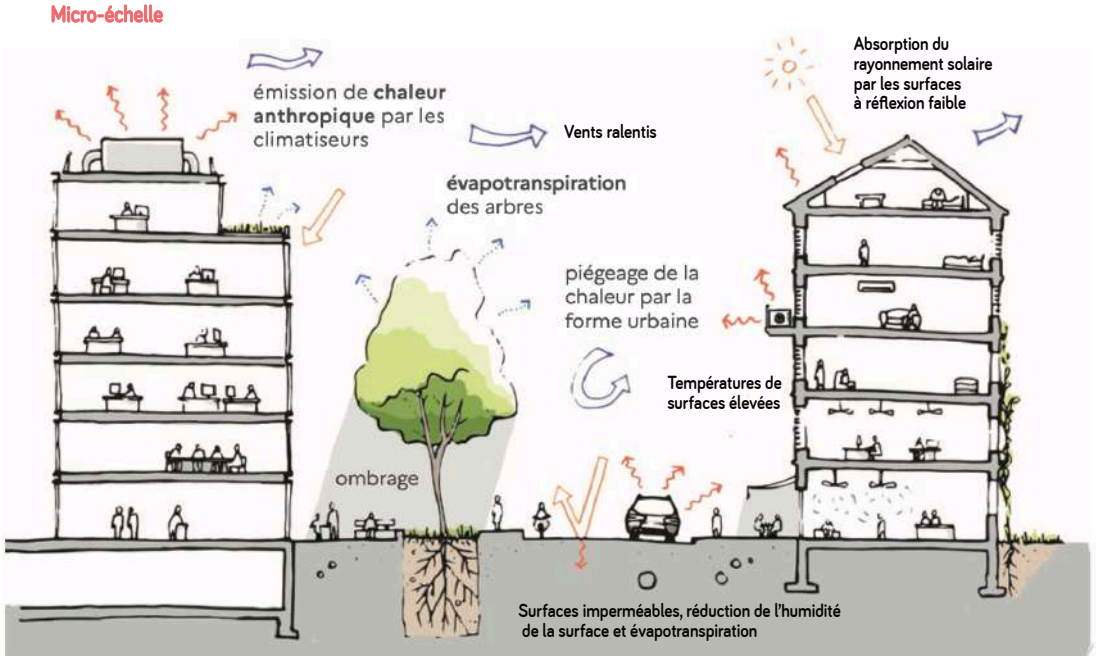
Ces différentes variables expliquent la variation des températures à l'intérieur de la ville, provoquant parfois des changements entre une rue et une autre.

Figure 5 :

Échelles du climat urbain montrant la couche limite urbaine (CLU) ainsi que certains processus et effets du microclimat urbain.



À l'échelle régionale, la Couche de limite urbaine (CLU) perce la profondeur de la couche limite planétaire (CLP) et se déplace sous le vent comme un panache d'air au-dessus d'une nouvelle couche limite rurale (CL rural).



Note : Images adapté à partir de "Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada", par Santé Canada. (2020, 29 avril). Canada.ca. https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/vie-saine/reduire-ilots-chaleur-urbains-proteger-sante-canada.html. "Rafraîchir les villes, des solutions variées", par Cerema. (2021, mai). "Un outil pour évaluer les îlots de chaleur urbains", par S. Obadia (2021, 13 octobre). https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/un-outil-pour-evaluer-les-ilots-de-chaleur-urbains.53207.

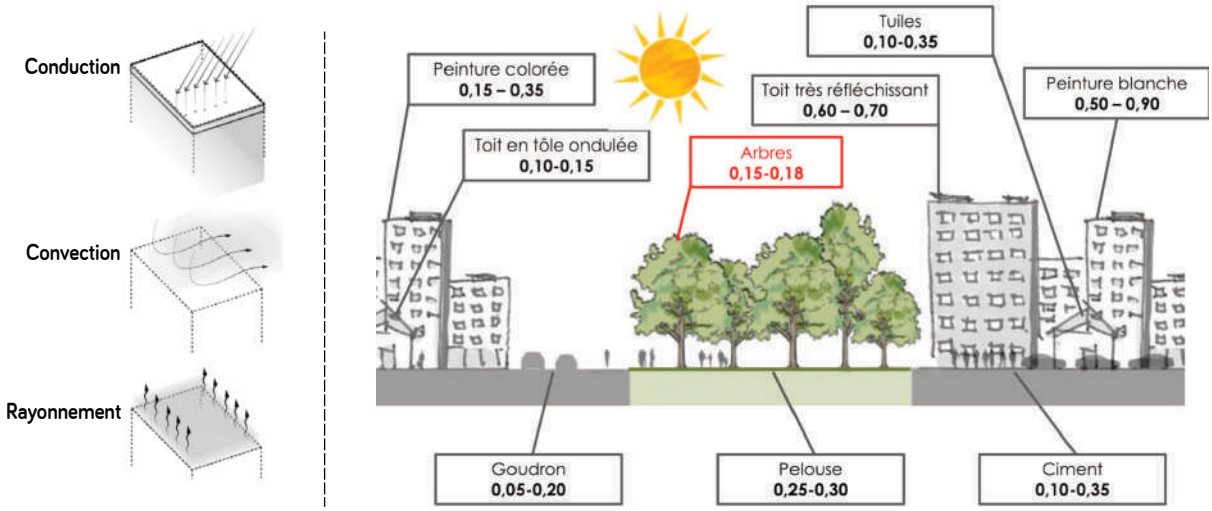
Lorsque le rayonnement solaire atteint l'espace urbain, l'énergie se divise en deux, une part est réfléchie sur les surfaces et l'autre part est absorbée par la surface ensoleillée. Cette énergie absorbée va ensuite être transférée sous forme de chaleur par trois principaux phénomènes physiques : La conduction, la convection et le rayonnement. Le premier transfère la chaleur par contacte directe avec un élément solide, comme les murs des façades, les toitures ou le sol. Le second phénomène s'agit du transfert de chaleur généré par la circulation de l'air causée par les différences de températures ou par les vents. Quant au troisième, le transfert de chaleur se fait par les déplacements d'ondes dans l'espace issue du soleil et des surfaces. (Voir figure 6).

Le taux d'énergie réfléchie par une surface est appelé l'albédo. L'indice de réfléchissement d'une surface dépend de sa couleur, mais aussi de sa texture et sa porosité. "C'est une valeur comprise entre 0 et 1 : un corps noir a un albédo nul, car il absorbe toute la lumière incidente et un miroir possède un albédo de 1, car il réfléchit toute la lumière incidente" (Bureau d'Études Techniques ECIC, 2014). Ces phénomènes vont définir le comportement thermique d'un espace et vont impacter le ressenti des usagers principalement en journée.

En revanche, la végétation contribue au refroidissement naturel de l'air, grâce au phénomène d'évapotranspiration qui permet, par la perte d'eau et par l'échange de chaleur entre l'eau et l'air, de rafraîchir l'air. (Bureau d'Études Techniques ECIC, 2014). (Voir figure 6).

Figure 6 :

Phénomènes physiques pour les transfert de chaleur et albédo par type de matériaux.



Note : Images adaptés à partir de "Îlot de chaleur urbain : conséquences sur les bâtiments", Bureau d'Études Techniques ECIC. (2014). conseils.xpair. https://conseils.xpair.com/actualite_experts/ilot-chaleur-urbain-consequences-batiments.htm. "Guide méthodologique pour la transformation des rues ordinaires" Ademe et a., (Avril, 2023).

En ce qui concerne la Martinique, étant une île située dans une zone tropicale avec une température annuelle moyenne de 27,4°C et une augmentation accélérée de l'urbanisation, il est indispensable de disposer d'informations sur le climat urbain pour établir une stratégie d'adaptation face à l'augmentation de la température. Cependant, la littérature est encore limitée dans ce contexte et il n'existe actuellement aucune étude officielle où l'îlot de chaleur est clairement identifié. Les données climatiques traitées par Météo France fournissent des informations pertinentes sur le climat à l'échelle régionale, mais pas à l'échelle locale ou micro. Des valeurs de références et des mesures de terrains manquantes permettraient d'adapter les aménagements à un contexte microclimatique particulier. La création d'indicateurs et la collecte de données sont un domaine de recherche qu'il ne faut pas négliger dans le processus de construction d'une politique publique. Les observatoires et le déploiement de dispositifs fixes à l'échelle microlocale ont un rôle fondamentale dans la connaissance du territoire.

Par ailleurs, il est important de comprendre quels sont les effets de la de chaleur sur la santé des habitants pour déterminer les risques et le niveau de vulnérabilité.

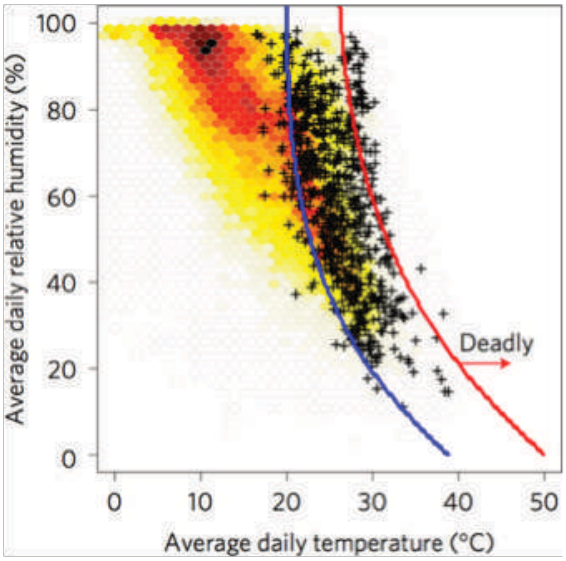
Un rapport publié sur le site de Science Advances, intitulé "The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance" montre l'apparition de conditions climatiques extrêmes, qui excèdent le seuil de tolérance du corps humain. Il existe une limite supérieure de capacité de survie en cas d'exposition prolongée, même dans des conditions idéales de santé parfaite. À une température humide (température avec un niveau d'humidité de 100%) dépassant environ 35°C, le mécanisme physiologique de refroidissement basé sur la sueur perd complètement son efficacité (Raymond, 2020) ce qui entraîne à terme, la mort.

En effet, un article de Nature Climate Change, dont plusieurs études sur les décès liés à la chaleur ont été évaluées, a permis de constater que la base combinée de la température et de l'humidité quotidienne moyenne était le moyen de différencier les épisodes létaux et non létaux. Le Dr. Lain Caldwell (2017) explique : "Nous avons pu identifier un seuil de température et d'humidité, au-dessus duquel les conditions sont devenues létales dans le passé - nous appelons ce seuil le "seuil mortel" dans notre article." Dans la figure 7, nous pouvons apercevoir la ligne rouge qui indique le seuil mortel au-dessus duquel tous les événements ont causé des décès.

Selon le Dr. Geoffroy Denis (2010), en présence d'humidité, la sudation devient moins efficace et le corps doit compenser par les mécanismes de pertes directes au niveau de la peau. Ce phénomène nécessite une redistribution de la circulation sanguine vers la peau et une vasodilatation qui impose une charge supplémentaire au cœur. Cette charge est d'autant plus augmentée que la chaleur est souvent associée à la déshydratation et donc à une viscosité sanguine accrue. Si le corps ne parvient pas à se débarrasser de la chaleur excessive, cette dernière peut provoquer une hausse de la température interne (hyperthermie).

Figure 7 :

Température quotidienne moyenne de l'air et humidité relative pendant les épisodes de chaleur létale.



Note : Reproduit à partir de "Global risk of deadly heat", Mora et al, 2017.

D'autre part, les résultats d'une étude empirique, publiée le 28 janvier 2022 dans le Journal of Applied Physiology sont encore plus inquiétants. Selon les scientifiques, "un stress thermique incompensable dans les environnements humides se produit chez les jeunes adultes en bonne santé à des températures de bulbe humide nettement inférieures aux estimations actuelles de 35°C" (Vecellio et al. 2022).

En ce qui concerne la pollution, le rayonnement solaire et les températures élevées déclenchent des réactions chimiques entre les polluants primaires tels que l'oxyde d'azote (produit par les moteurs) et l'oxygène, produisant de l'ozone. Plus la journée est chaude, plus le rayonnement est intense, plus il y aura d'ozone. L'ozone est un oxydant virulent qui exacerbe les affections respiratoires telles que l'asthme et peut occasionner des difficultés respiratoires y compris chez les personnes en bonne santé. (Teqoya, s.d.)

Néanmoins, dans une analyse des études scientifiques sur les effets de l'ozone sur la santé, Host et al. (2009) suggèrent "d'une part que l'impact des polluants de l'air, notamment de l'ozone, ne se limite pas à des effets cardiovasculaires et respiratoires". Cela exprime la nécessité de considérer les répercussions à court terme pour évaluer l'impact total de la pollution. L'asthénie, maux de tête, conjonctivite, éruption cutanée, les pathologies neurologiques et perturbations des fonctions cognitives chez les adultes sont des pistes élargissant la palette d'effets attribuables à ce type de pollution.

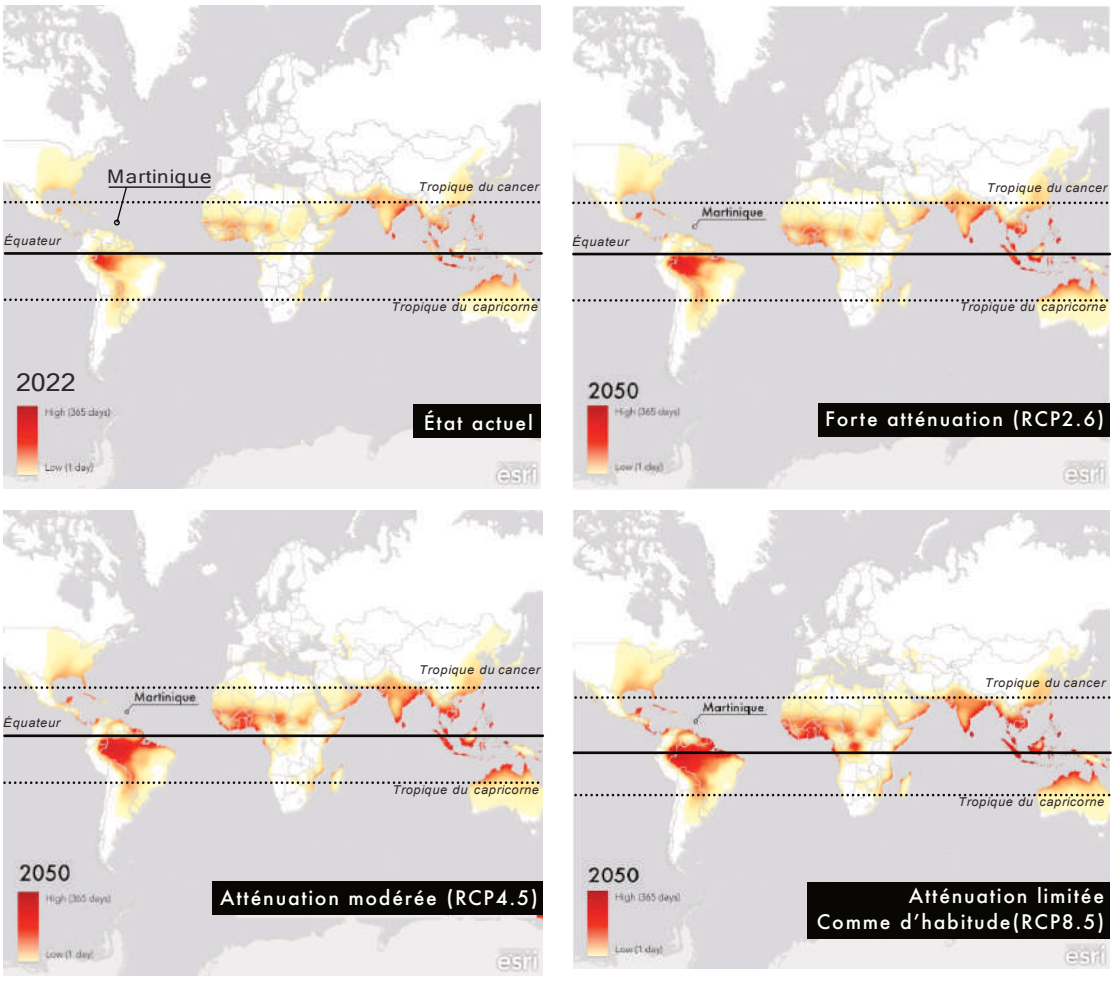
3. Les enjeux des villes tropicales face à l'augmentation des températures

Le dernier rapport du GIEC (mars 2022), nous informe sur les risques liés aux vagues de chaleur.

> Selon le RCP, la moitié (RCP2.6) aux trois quarts (RCP8.5) de la population humaine pourraient être exposés à des périodes de conditions extrêmes résultant des impacts couplés de la chaleur et de l'humidité d'ici 2100. [...] Un niveau d'exposition disproportionné existe dans les villes subtropicales soumises à des températures élevées toute l'année. Températures et humidité plus élevées, nécessitant moins de réchauffement pour dépasser les seuils "dangereux" (GIEC, 2022, p 21-22).

La figure 8 montre les projections du nombre de jours dépassant le seuil de conditions climatiques potentiellement mortelles en 2050 : le premier scénario (RCP2.6) avec une forte atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES), le second (RCP4.5) avec une atténuation modérée et le dernier (RCP8.5), le plus pessimiste où les émissions se poursuivent au rythme actuel.

Figure 8 :
Nombre de jour dépassant le seuil de conditions climatiques potentiellement mortelles en 2050.



Note : Adapté de "Billions to face 'deadly threshold' of heat extremes by 2100, finds study", Mcsweeney, 2017.

Nous pouvons percevoir clairement sur les projections de 2050 que la zone la plus impactée par la hausse de température concernera principalement les pays entre le tropique du cancer et du capricorne et plus particulièrement les villes côtières et les îles. En moins de 30 ans, certains pays situés en Amérique latine, caraïbe, Afrique, sud asiatique et Océanie du nord vont devoir faire face à des phénomènes inédits de chaleur dans certaines, voir toutes les villes, dont les conditions climatiques potentiellement mortelles seront présentes durant les 365 jours de l'année. L'être humain aura d'énormes difficultés à supporter ces conditions si les stratégies d'adaptation des villes ne sont pas mises en œuvre rapidement. En conclusion, la vie humaine ne sera plus possible.

Les villes tropicales sont confrontées à deux enjeux majeurs. D'une part, elles doivent s'engager dans une transition énergétique en réduisant leurs émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, elles doivent renforcer leur résilience face aux risques climatiques, notamment, face à l'augmentation des températures.

Pour faire face au premier enjeu majeur, il est nécessaire de relever le défi de la décarbonation des énergies. Les villes doivent réduire leur dépendance aux combustibles fossiles et encourager l'utilisation des énergies renouvelables. De plus, elles doivent aussi investir dans l'efficacité énergétique au niveau urbain et architectural en améliorant le choix de matériaux et en mettant en oeuvre des stratégies bioclimatiques qui réduisent la consommation énergétique. Les villes doivent également encourager l'utilisation de modes de transport durables et la proximité des services pour minimiser les déplacements.

Le deuxième enjeu majeur concerne la vulnérabilité face au stress thermique. Les villes doivent mettre en place des mesures d'adaptation pour réduire les effets des îlots de chaleur urbains, tels que la plantation d'arbres et la création d'espaces verts ainsi que des espaces dédiés à l'activité physique et à l'agriculture urbaine pour favoriser un style de vie plus sain.

Comme l'indique la figure 8, la Martinique est une île des Caraïbes située dans la zone subéquatoriale qui, selon les projections, risque de subir un nombre élevé de jours mortels en raison de conditions de chaleur et d'humidité extrêmes. Portant ce n'est pas l'unique risque auquel elle fait face, car a travers leur histoire, les villes de la Martinique ont vécu plusieurs catastrophes naturels qui ont affecté leur développement. Elles sont le résultat d'une constante adaptation aux changements et à la croissance démographique non planifiées, leur développement est morcelé et sans vision d'unité à l'échelle de l'île. Pour ces villes, il est la nécessaire de créer un modèle de réaménagement plus équitable, solidaire, écologique et durable, et de les préparer à d'autres risques supplémentaires liés aux changements climatiques, autrement dit, faire en sorte qu'elles deviennent résiliantes.

CHAPITRE 2 : Politiques d'aménagement pour minimiser le risque de stress thermique en milieu urbain et favoriser le bien-être

1. Cadre réglementaire climat - urbanisme - santé

Définir une politique publique en réponse aux défis environnementaux et sanitaires actuels, est la base pour réussir la résilience des villes. Sans une politique publique d'adaptation performante pour lutter contre la surchauffe urbaine, une ville ne pourra pas se développer durablement, les projets d'aménagement ne seront pas efficaces et les habitants seront condamnés à vivre en difficulté. Plusieurs scientifiques se sont exprimés à ce sujet (GIEC, 2023), l'ADEME a dit "Le rafraîchissement urbain est un enjeu majeur pour les villes dans le contexte actuel de changement climatique et du phénomène de surchauffe urbaine." (juin 2020). Cependant, malgré son importance scientifique, environnementale et sanitaire, la France ne possède aucune réglementation spécifique concernant les îlots de chaleur urbains (ICU) et leur impact sur la santé.

> "Cette notion n'est pas encore définie en droit positif. Aucune loi ou texte réglementaire ne propose, en France, de contenu précis pour décrire ce phénomène auquel les habitants des zones urbanisées sont pourtant de plus en plus confrontés à raison de la succession des épisodes de chaleur. Ce phénomène produit pourtant des conséquences sanitaires et environnementales majeures voire mortelles". précise l'avocat Arnaud Gossement, dans son article "îlot de chaleur urbain : une notion absente du droit positif mais déjà émergente dans la jurisprudence administrative" (13 juin, 2022)

Cela signifie qu'au niveau spécifique, il n'existe pas de mesures "obligatoires" d'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, au niveau du type de matériaux préconisé, de végétation, de l'accès à des zones fraîches, de la diversité de l'utilisation des sols et d'usages, du taux d'imperméabilisation des sols, du mobilier urbain, des structures d'ombrage, des espaces verts dont les parcs et les espaces réservés à l'agriculture urbaine, de la densité, de la hauteur, de l'orientation des rues et des bâtiments, de la limitation des rues réservées aux véhicules, de la mobilité partagée et douce, du système de transport en commun, de la régulation des espaces de stationnement, etc.

Il est donc fondamental de réaliser un diagnostic climat - environnement - santé pour évaluer les besoins du territoire, intégrer de manière précise le risque de stress thermique dans les documents d'urbanisme opérationnels et élaborer un projet de territoire résilient.

Il est essentiel que les décideurs assimilent que la lutte contre le changement climatique passe par la substitution des énergies fossiles qui sont à l'origine des émissions de gaz à effet de serre. La mise en place de politiques facilitant la transition vers des sources d'énergies renouvelables et moins polluantes est urgente et prioritaire. Cela peut inclure des incitations fiscales pour l'installation de panneaux solaires et d'éoliennes, des programmes de formation pour les professionnels de l'énergie

et des règles d'urbanisme qui aident à minimiser la consommation d'énergie des bâtiments ; en d'autres termes, diminuer l'impact des îlots de chaleur pour diminuer la consommation de la climatisation.

Néanmoins, il existe des réglementations et des mesures visant à améliorer la santé publique, la qualité de l'air et le bien-être dans les zones urbaines qui ont des impacts indirects sur la gestion des îlots de chaleur. Par exemple, le plan climat air énergie territorial (PCAET) permet de mettre en place des politiques publiques pour lutter contre les émissions polluantes, promouvoir les énergies renouvelables et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). De plus, la loi Elan (évolution du logement, de l'aménagement et du numérique) de novembre 2018 encourage la réduction des îlots de chaleur urbains dans les nouveaux projets immobiliers. Le Code de l'environnement comporte également des dispositions sur la protection de la santé en relation avec l'environnement, qui peuvent être mobilisés pour agir contre les îlots de chaleur urbains. Il convient de noter que parfois, des études sont menées afin d'évaluer les impacts des îlots de chaleur urbains sur la santé et de proposer des mesures pour les réduire. De plus, des documents nationaux et régionaux (PNSE et PRSE) visent à offrir un cadre général pour agir sur les déterminants environnementaux de la santé ainsi que la performance énergétique et la lutte contre le logement indigne, considérant les conditions de l'habitat dans le schéma régional de l'habitat et de l'hébergement (SRHH) ou les plans locaux de l'habitat (PLH). Par ailleurs, l'ICU est nommé une seule fois (page 24) dans le document de la stratégie nationale de santé de 2018-2022, mais elle inclut des actions pour minimiser la vulnérabilité de la population face aux risques associés aux îlots de chaleur urbains.

Autres textes d'urbanisme liée à la santé et aux impacts des îlots de chaleur urbains :

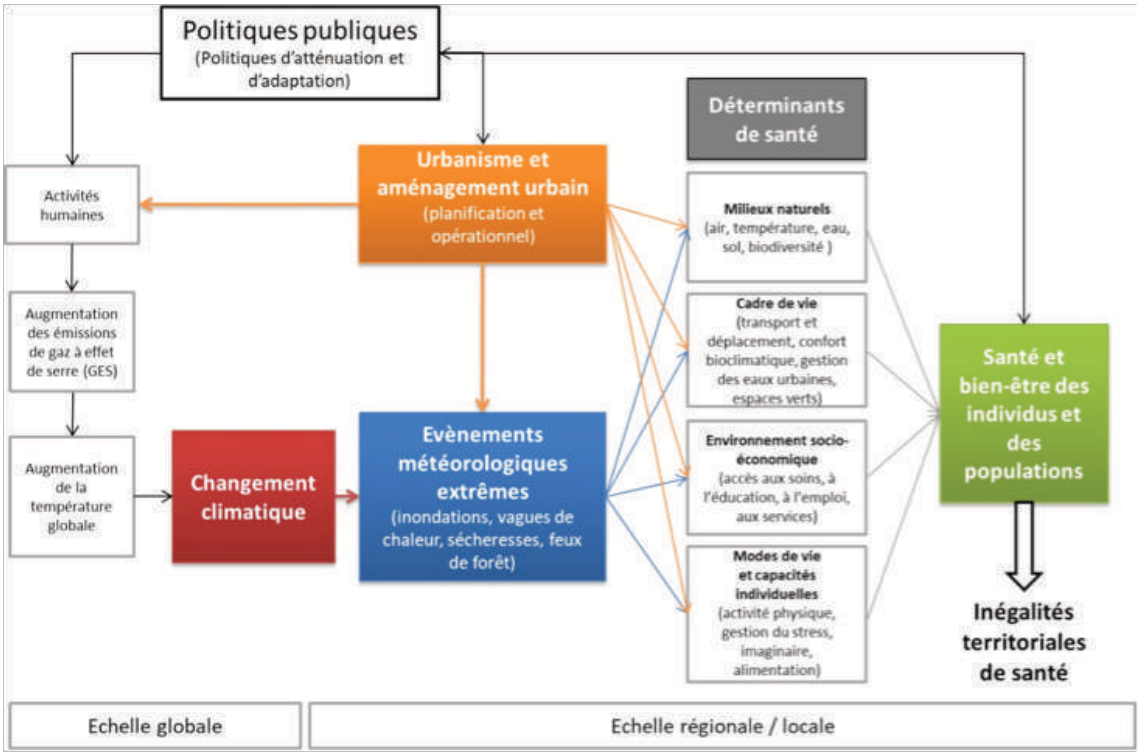
- Le schéma régional climat, air, énergie (SRCAE) ;
- Les plans climat, air, énergie territoriaux (PCAET) ;
- Loi climat et résilience du 22 août 2021 ;
- Les plans de déplacements urbains (PLD au niveau local et PMIF au niveau régional) ;
- Plan biodiversité avec l'objectif "Zéro artificialisation nette" ;
- Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et le plan de gestion du risque inondation (PGRI) qui traite le risque d'inondation, pollutions, etc ;
- Plan régional de l'agriculture durable (PRAD), qui traite de l'alimentation ;
- Déclaration d'Adélaïde (2010) sur l'intégration de la santé dans toutes les politiques.

La figure 9, met en évidence la manière dont les politiques publiques sont à la tête d'une planification urbaine en termes de lutte contre le changement climatique, ainsi que leur impact sur les déterminants de santé et du bien-être.

Toutefois, pour que ces politiques soient efficaces à l'échelle locale, il est essentiel qu'elles soient conformes aux textes d'orientation générale tout en étant compatibles avec la réalité de la micro-échelle. l'Urbanisme de planification et et l'Urbanisme opérationnel doit faciliter la mise en œuvre de stratégies territoriales.

Figure 9 :

Représentation des liens entre changement climatique, aménagement urbain et santé.



Note : Image conceptuelle selon une approche des déterminants de santé. Reproduit à partir de "La santé face au changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur" Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), novembre 2019. Grec-sud. http://www.grec-sud.fr/article-cahier/article-du-cahier-sante/

2. La décarbonation : Le potentiel des énergies renouvelables des villes insulaires et tropicales.

Les énergies renouvelables ont un potentiel important pour les villes insulaires et tropicales. En effet, ces régions disposent souvent d'un ensoleillement abondant, de vents constants et sont entourés de mer et/ou d'océan ce qui en fait des endroits idéaux pour au moins produire de l'énergie solaire, éolienne et marémotrice, quelle que soit la saison. Les technologies de stockage de l'énergie, telles que les batteries, permettent de conserver l'électricité produite à partir de sources renouvelables et de la distribuer durant les périodes de faibles rendements de production ou les pics de consommation. Ceci contribuerait à diminuer considérablement l'importation d'hydrocarbure par bateau, baisser l'impact négatif que génère ce type de transport et donc de réduire la dépendance des villes vis-à-vis des combustibles fossiles.

La décarbonation des villes insulaires et tropicales peut également passer par une meilleure gestion des déchets, étant toujours un défis dans un espace limité. Les technologies de traitement de certains déchets peuvent les transformer en sources d'énergie et de nutriments pour les cultures, contribuant ainsi à la production d'énergie verte et à la protection de l'environnement. La principale technique appelée biomasse, consiste à brûler directement les déchets via une combustion controlée afin de produire de la chaleur qui va ensuite se transformer en électricité. De plus, le compostage peut également valoriser les déchets alimentaires, grâce à un processus de décomposition (digestion anaérobique), qui permettrait de produire du biogaz. Ce processus va devenir une réalité à partir du 1er janvier 2024 suite à la loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (legifrance, 2020). Cette loi rend obligatoire l'utilisation d'un bac à composte pour les biodéchets du domicile ou mis à la disposition par les communes dans l'espace public. Les villes peuvent utiliser ce gaz comme source d'énergie renouvelable pour produire de l'électricité ou de l'engrais écologique pour l'agriculture. L'avantage du biogaz, en plus de réduire les émissions de gaz à effet de serre, est qu'il participe à la réduction des déchets. Cependant en cas d'accident, cette technologie est loin d'être sans risque. Par conséquent, il est recommandé que les sites de production se tiennent à l'écart des lieux de vie et des sources d'eau.

En raison d'un niveau d'ensoleillement élevé, l'énergie solaire est l'une des sources d'énergie les plus populaires et accessibles dans les régions tropicales. En utilisant des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité, les villes tropicales peuvent réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, ainsi que leurs coûts énergétiques. Grâce aux caractéristiques physiques de cette solution, l'énergie solaire peut être utilisée pour fournir de l'électricité dans des zones éloignées ou isolées et limiter l'usage de groupe électrogène fonctionnant à l'énergie fossile. Ce système peut également servir à isoler les toitures et les façades de la chaleur, et couvrir des superficies importantes pour apporter de l'ombre ; autant de bénéfices supplémentaires au profit du confort thermique. À noter que l'article 11 du projet de loi sur l'accélération des énergies renouvelables, impose à tous les parkings extérieurs de plus de 80 places, l'installation de panneaux solaires sur au moins la moitié de leur surface. La loi est rentrée en vigueur au 1er juillet 2023.

D'autre part, l'énergie éolienne est une autre source d'énergie renouvelable prometteuse pour les villes tropicales, en raison de leur littoral qui est souvent exposé aux vents forts ou aux alizés ; c'est le cas de la Martinique. Elle est un excellent complément à l'énergie solaire, car elle a la capacité de fonctionner durant la nuit. Cette énergie peut être utilisée pour produire de l'électricité à grande ou petite échelle dans le cas où nous utilisons des turbines éoliennes pour alimenter des maisons ou des bâtiments. Les avantages de l'énergie éolienne sont nombreux, notamment sa durabilité, sa disponibilité constante, son faible impact environnemental et sa réduction des coûts de l'électricité. Suivant leur technologie, elles peuvent être installées autant en mer que sur terre.

Le mouvement des marées est également une source d'énergie propre et présente dans les régions

insulaires. L'énergie marémotrice peut fournir une source de production électrique stable et fiable, de jour comme de nuit. Bien que la technologie soit encore en développement et ne cesse de s'améliorer, elle présente un grand potentiel pour ces villes côtières.

Bien réalisée pour éviter toutes usures prématurées, la géothermie peut s'avérer être une source d'énergie intéressante. Il est d'autant plus vrai si le territoire est de type volcanique (présence de chaleur dans le sol beaucoup plus importante). Cette technique utilise la chaleur de la terre pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur. Dans les villes tropicales, la géothermie permet de produire de l'électricité toute la journée, même en cas de cyclone contrairement à d'autres moyens de production pouvant être plus vulnérable.

3. Mobilité durable et système de transport performant

La mobilité est un élément clé dans le stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'atténuation des îlots de chaleur urbains dans le cadre du développement d'une ville durable et résiliente. Pour atteindre cet objectif, les villes doivent mettre en place un système de transport performant et encourager des modes de déplacement doux. Cela implique la création des infrastructures appropriées, telles que des transport en commun, des trottoirs larges, des pistes cyclables bien aménagées et des zones piétons.

L'ile de France Mobilités (s.d) ainsi que le travaux de Millet (2016), préconisent plusieurs actions pour améliorer la performance des transports routiers : plus rapides, réguliers, ponctuels, accessibles, confortables, propres, lisible, fiables et fréquents. (Île-de-France Mobilités, s.d.). Nous pouvons évaluer l'efficacité du transport en commun en tenant compte de quatre critères : sa capacité, sa fréquence, sa couverture, son impact environnemental (durabilité) et sa qualité (Vivre en Ville, 2018).

La capacité : Elle considère la capacité du système de transport en commun à accueillir et à transporter un nombre optimal de passagers. Elle peut inclure des indicateurs tels que la capacité maximale des véhicules et les infrastructures comme les stations ou les arrêts. En milieu tropical, il est recommandé que ces derniers soient confortables au point de vue thermique en incluant la végétation, l'ombre, de sources d'eau potable, et un mobilier urbain adéquat pour l'attente. Des bancs peuvent être installés pour limiter l'effort d'attente pour les plus vulnérables.

La régularité : Elle peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la densité de population, la demande de déplacement (quantité par heure), les caractéristiques du réseau, les ressources disponibles et les objectifs particuliers de chaque territoire. En général, une fréquence élevée est souvent considérée comme un indicateur de performance pour un système de transport en commun. Ce critère est d'autant plus important sur des territoires où la chaleur peut devenir insupportable pour les personnes les plus sensibles. Une trop longue exposition à des températures élevées peut devenir un risque et un motive de plus à opter pour la voiture. Il est important de prend en compte

certaines lignes directrices :

- Fréquence de pointe : Elle est généralement la période durant laquelle la demande de déplacement est la plus forte. Dans de nombreux systèmes de transport en commun, une fréquence de 5 à 10 minutes entre les véhicules est souvent considérée comme adéquate pour répondre à la demande et éviter la surcharge des véhicules.

- Fréquence hors pointe : Une fréquence régulière et prévisible reste importante pour assurer la fiabilité du système de transport en commun et maintenir son attractivité pour les usagers. Une fréquence de 15 à 30 minutes entre les véhicules en dehors des heures de pointe peut être considérée comme adéquate dans certains cas. Néanmoins, dans un contexte tropical, 30 min peut s'avérer être long, car l'hors pointe est souvent situé durant la période la plus chaude de la journée. Sans ombre, il sera difficile de rendre attractif ce système de transport et risque de mettre l'usager dans une position inconfortable.

- Desserte des quartiers densément peuplés : Une fréquence plus élevée peut être nécessaire pour répondre à la demande de déplacement locale et encourager l'utilisation du transport en commun. Une fréquence de 5 à 10 minutes entre les véhicules peut être souhaitable dans les zones urbaines denses.

- Desserte des quartiers moins denses : Dans les quartiers moins denses ou en périphérie urbaine, où la demande de déplacement peut être plus faible, une fréquence moins élevée peut être acceptable, mais il est toujours important d'assurer une fréquence régulière et prévisible pour maintenir l'attrait du transport en commun.

Il est important de noter également que la fréquence du service de transport en commun peut varier en fonction des jours de la semaine, des évènements et des saisons, en fonction des variations de la demande de déplacement. Pour les évènements, la ville peut mette à disposition de navettes qui relient les points de ressemblent avec les villes voisines ainsi que des parkings peut encourager les usagers à utiliser les système.

La couverture territoriale : Il s'agit de la proportion de la population ou du territoire desservie par le système de transport en commun. Elle peut inclure des indicateurs tels que la densité de stations ou d'arrêts par kilomètre carré, la distance moyenne entre les stations ou les arrêts et la proportion de la population desservie par le réseau.

La durabilité : Elle prend en compte l'impact sur l'environnement en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de consommation d'énergie, d'utilisation de ressources naturelles et d'impact sur la qualité de l'air et de l'eau.

La qualité : Elle repose sur des critères tels que la ponctualité, la fiabilité, le confort et l'accessibilité. Il s'agit également d'intégrer des solutions technologiques telles que la géolocalisation en temps réel des véhicules, qui permettent de connaître avec précision l'heure d'arrivée estimée.

Des indicateurs tels que le taux de satisfaction des usagers et le temps moyen de trajet, composé du temps utile et du temps perdu, peuvent être utilisés pour évaluer la qualité du service de transport et identifier les domaines nécessitant des améliorations. (Île-de-France Mobilités, s.d.; Millet, 2016).

Mettre en place un projet de pistes cyclables performant

Depuis quelques années, le vélo a devenu le moyen de transport quotidien pour les habitants de plusieurs villes du monde grâce à ses nombreux atouts : il est silencieux, sain, respectueux de l'environnement, économe en surface et accessible à différents budgets. Il contribue à limiter les émissions de CO2 et les dérèglements climatiques, la pollution de l'air, le bruit, les problèmes de santé publique liés à des modes de vie sédentaires et la congestion des infrastructures (Büro für mobilität et al., 2023).

Selon le guide vélo élaboré par l'observatoire universitaire du vélo et des mobilités actives (OUVEMA) et l'institut de géographie et durabilité de l'Université de Lausanne, pour s'assurer la performance d'un projet de pistes cyclables, plusieurs critères doivent être pris en compte. Tout d'abord, les pistes doivent être sûres, bien séparées du trafic automobile pour assurer la sécurité des cyclistes et si possible être à l'abri des conditions climatiques. Elles doivent également être connectées aux autres modes de transport en commun pour faciliter les déplacements intermodaux. (Büro für mobilität et al., 2023).

Le Cerema a également réalisé un document intitulé "Rendre sa voirie cyclable. Les clés de la réussite" (2021) dans lequel il expose les préconisations pour la planification, le dimensionnement, le plan de circulation, la signalisation, les intersection et les stationnement des pistes cyclables. Selon les recommandations du document, la largeur souhaitable d'une piste cyclable unidirectionnelle es de 2.50m, pour une piste bidirectionnelle est de à 3,50m. Elles doivent être conçues pour permettre une continuité, être confortables et pratiques, et dotées d'une signalisation claire pour éviter les accidents. En ce qui concerne les intersections, elles doivent assurer la visibilité réciproque des usagers et être aménagées de manière à faciliter le passage des cyclistes.

En termes de confort des usagers tout au long du parcours, la présence de végétation, de structures d'ombrage et l'accès à des fontaines à eau potable peuvent contribuer à favoriser ce genre de mobilité. Des aires de stationnements ombragées peuvent également être aménagées sur les axes les plus longs pour permettre aux usagers de se reposer, se rafraîchir et accéder à des toilettes publiques.

Pour la sécurité des vélos, des abris clos spécifiques permettraient de prévenir les vols et de les protéger des intempéries. Le Guide pour installer un stationnement vélo sécurisé issu du programme Objectif Employeur Pro-Vélo (OEPV, mars 2023) visant à promouvoir l'usage du vélo, fournit des conseils pratiques pour leur mise en place dans les entreprises, comme l'aménagement de douches et de parkings sécurisés.

En outre, pour encourager les employés à changer leur mode de transport et opter pour le vélo, des incitations financières ou des jours de congé peuvent être proposés. Ces mesures peuvent contribuer à motiver les employés à adopter une approche de transport plus respectueuse de l'environnement et à favoriser l'usage du vélo comme mode de déplacement.

Pour garantir la pérennité d'un projet de pistes cyclables, il est essentiel de bien le planifier dès le départ, en prenant en compte les habitudes de la population, l'âge des futurs utilisateurs, leurs motivations de déplacement et, dans les climats tropicaux, le confort doit être une préoccupation majeure. Le projet est réussi s'il est présenté comme une réelle alternative de transport pour les trajets quotidiens, accessible, rapide, sécurisé et confortable.

Il convient donc d'assurer le nettoyage, les réparations et les améliorations des pistes cyclables de manière régulière, en les adaptant au contexte local. En somme, une bonne planification associée à une maintenance adéquate permet d'offrir aux usagers une expérience de qualité et de promouvoir l'utilisation du vélo comme mode de transport durable et agréable.

Les espaces piétons

Comment définir la qualité des espaces piétons dans un urbanisme favorable à la santé ? Pour répondre à cette question, de nombreux concepts ont été développés par des sociologues, urbanistes et architectes. (Jacobs, 1961 ; Martouzet, 2013 ; Lynch, 1998 ; Gehl, 2014; Moreno, 2023) L'urbanité, la civilité, l'hospitalité, l'aménité évoquent un environnement vital pour l'ensemble du corps social.

L'expert en mobilité Vincent Kaufmant, s'est efforcé de comprendre comment le contexte influence le potentiel d'une personnes à se mouvoir et le rôle que le concept de motilité joue dans les déplacements quotidiens. Selon l'article "Motilité et mobilité : mode d'emploi"

> Si la voiture était considérée dans les années 1970 comme un progrès par rapport au transport collectif, la montée des préoccupations environnementales au cours de ces vingt dernières années inverse désormais cette représentation [...] la capacité d'un individu à se mouvoir déterminerait aussi sa position dans l'espace social. (Kaufman et al., 2016).

Posséder un permis de conduire, avoir un budget limité pour acheter une voiture ou vivre dans des zones éloignées des services de la vie quotidienne font partie des contraintes de l'urbanisme moderne

et constituent une forme de ségrégation sociale.

Carlos Moreno (2023) expose un nouveau paradigme : "la ville de proximité" ou "la ville du quart d'heure". Il va à l'encontre de l'urbanisme moderne qui sépare les espaces résidentiels des lieux de travail, des commerces, de l'industrie et des loisirs. Ce concept vise à réduire les distances en évitant l'utilisation de la voiture, tout en désengorgeant les villes grâce à une organisation décentralisée. En d'autres termes, accéder facilement aux six fonctions sociales urbaines essentielles : le logement, le travail, les achats, l'éducation, la santé et le loisir. À final, les habitants doivent pouvoir se déplacer en toute liberté. À cet égard, le concept de "motilité" est essentiel.

La ville de proximité implique le développement des villes à une échelle humaine. Elle s'inscrit dans une approche d'urbanisme favorable à la santé, offrant un équilibre de vie en satisfaisant les besoins essentiels et en optimisant le temps. Elle propose un rythme différent qui permet de disposer de temps pour soi, pour la famille et les proches. Moreno (2023) suggère la transformation des espaces monofonctionnels vers une ville polycentrique, en se basant sur quatre aspects fondamentaux : la proximité, la mixité, la densité et l'ubiquité.

La combinaison de ces aspects permettra de donner vie aux espaces publics. Cependant, pour y parvenir, il est essentiel d'assurer la qualité des espaces piétons. Tout projet d'aménagement d'une rue repose sur une interaction étroite entre l'ensemble des acteurs impliqués, incluant les citoyens et les acteurs locaux, avec une évaluation continue telle que pratiquée dans le cadre de "l'urbanisme tactique". L'usager, le citoyen, le voisin sont au cœur de la réflexion, mais aussi de la co-construction.

Les espaces piétons doivent être attractifs et confortables pour encourager les gens à marcher. Ils doivent être aménagés avec des équipements de qualité tels que des bancs pour se poser, des fontaines pour se rafraîchir, une bonne signalisation, des surfaces et matériaux polyvalents et de la végétation. Dans un environnement tropical, l'ombre au niveau des espaces piétons est nécessaire. Les rues piétonnes doivent également être connectées aux autres modes de transport pour faciliter les déplacements intermodaux et garantir une bonne expérience globale du trajet. Enfin, il est primordial d'entretenir régulièrement les espaces piétons pour assurer leur sécurité, leur durabilité et leur attractivité.

Les cinq grands principes généraux, pour une rue commune selon l'ADEME (2023) sont :

1. Un sol à nivellement continu, sans séparation entre les fonctions urbaines ;
2. Une surface largement perméable pour permettre aux eaux de s'infiltrer autant que possible ;
3. Une voie sans stationnement, autorisant uniquement un arrêt conditionné pour les véhicules motorisés ;
4. Une végétation structurante, pour une ombre et une fraîcheur continue ;

5. Une règlementation de la rue favorisant d'autres usages alternatifs à la mobilité, évolutifs dans l'espace et dans le temps.

La figure 10 présente quelques exemples d'aménagement autour du monde favorisant la marche.

Figure 10 :

Exemple d'espaces piétons à New York. High Line par Diller Scofidio + Renfro

Note : Images reproduites à partir de "High Line City Walk, New York" Photographe : Iwan Baan,Timothy Schenck 2019. https://arquitecturaviva.com/works/paseo-urbano-high-line-nueva-york-4 et https://zinco-greenroof.com/references/high-line-park-new-york-city

II / L'urbanisme bioclimatique en climat tropical : principes et paramètres pour un aménagement sain et atténuant la chaleur

CHAPITRE 3 : Comprendre le climat et son environnement pour mieux s'adapter

La climatologie urbaine est aujourd'hui un domaine de recherche investi à la fois par les climatologues et les géographes, mais également par les architectes et les urbanistes. Chacun d'entre eux s'est approprié ce sujet selon des échelles, des variables ou encore des objets d'études différents (Toudert, 2005).

D'après Gisèle Escourrou (1984), "le climat d'une ville ne peut pas se séparer de son environnement". Nous rejoignons cette affirmation étant donné que la mesure et l'observation de tous les paramètres qui composent le climat urbain sont essentiels pour trouver des alternatives d'adaptation appropriées à chaque territoire. La climatologie urbaine est un critère à ne pas sous-estimer, non seulement pour être en accord avec l'espace, mais surtout pour garantir une habitabilité adéquate en terme de confort thermique.

1. Les déterminants de la santé susceptibles à la chaleur

L'impact de la surchauffe urbaine sur la santé est associé à divers éléments inhérents à la ville. Ceux-ci peuvent avoir une influence positive (facteurs de protection) ou négative (facteurs de risque) au niveau individuel ou collectif. Ces facteurs, également appelés "déterminants, sont interdépendants et peuvent être atténués ou accentués par l'exposition à un autre déterminant.

Lorsque nous prenons le problème des îlots de chaleur urbains (ICU), les impacts sur la santé peuvent être directs agissant sur la surmortalité liée au stress thermique. Ils peuvent être également indirectement associés aux conditions de vie et à la qualité de l'air de l'environnement : par exemple, une température excédant les 30°C est très propice à la formation d'ozone au sol et donc de smog (Denis, 2010), favorisant le développement d'allergies et de maladies respiratoires.

Cette recherche est focalisée sur l 'analyse des facteurs susceptibles d'augmenter la vulnérabilité de la population face à la surchauffe urbaine. Notre étude de cas se portera sur la Martinique à l'échelle de la ville, le macroclimat et à l'échelle du quartier, le microclimat. Nous les avons regroupés en 3 familles :

- *Les déterminants biologiques* qui considèrent l'âge, les conditions physiques et génétiques.
- *Les déterminants sociaux-économiques* qui concernent les caractéristiques de la population au niveau économique et comportemental.
- *Déterminants environnementaux* qui regroupe les données relatives à l'environnement physique et le cadre de vie des habitants (la localisation géographique, l'espace bâtis, îlots de chaleur et de fraîcheur, accès aux aménités, le type de surface tels que les revêtements et la part de végétal, etc).

1. Les déterminants biologiques

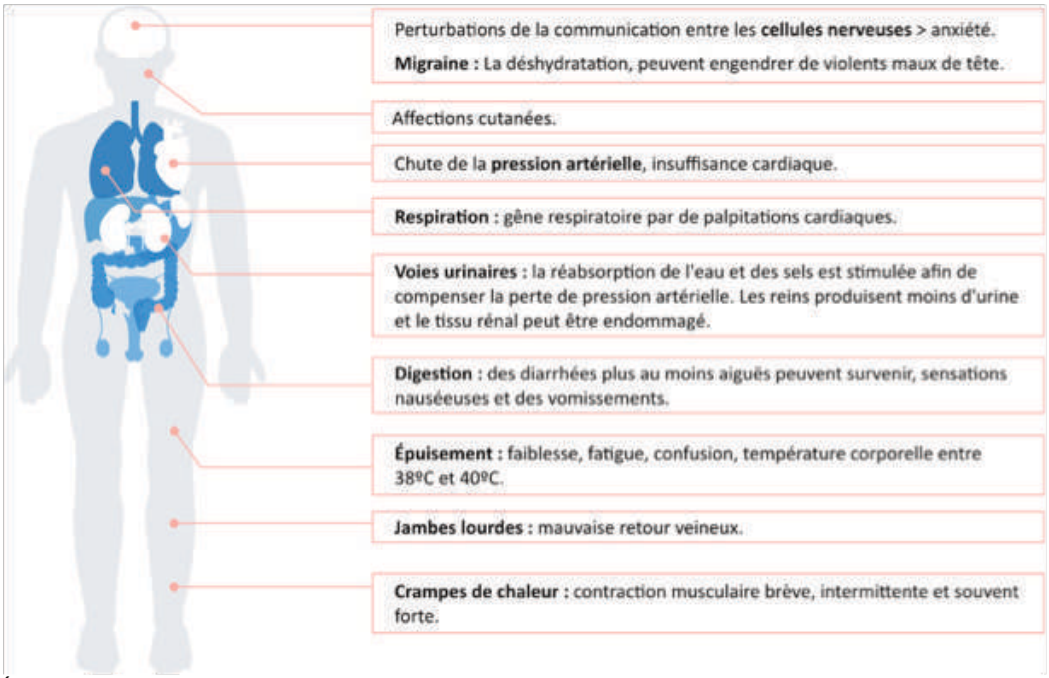
Pour identifier les impacts de la surchauffe urbaine sur la santé, il est fondamental de commencer par la compréhension de la biologie humaine face aux épisodes caniculaires afin d'identifier les groupes de personnes vulnérables en raison de leurs conditions. Pour cela, le biologiste Pieter Vancamp (2019) explique comment le corps humain réagit aux conditions de chaleur extrême et pourquoi elles sont si dangereuses. Concrètement, la thermorégulation du corps humain a la fonction de déclencher une réponse physiologique de notre organisme face aux variations anormales de température. "La première réaction physiologique (et la plus importante) est la production de sueur. En s'évaporant, celle-ci permet de dissiper la chaleur, au niveau de la peau et des extrémités du corps (mains, pieds)".

Au niveau des organes, le cerveau, l'intestin et les reins souffrent également du stress en cas de fortes chaleurs (figure 9). Cependant, Vancamp (2019) ajoute :

> Le système cardiovasculaire est l'un des premiers affectés. Afin de pouvoir transpirer, il faut que le flux sanguin se déplace des organes centraux vers les organes périphériques pour qu'il puisse s'y refroidir. [...] La perte d'eau par la transpiration et la redistribution du flux sanguin provoque une chute de la tension artérielle. Pour tenter de compenser, afin de maintenir la circulation sanguine à travers les organes vitaux, les battements du cœur s'accélèrent. [...] Si cette chute de tension n'est pas traitée, elle peut entraîner, dans les cas les plus graves, une insuffisance cardiaque. (Voir image 11).

Figure 11 :

Manifestations chez une personne exposée à une température élevée



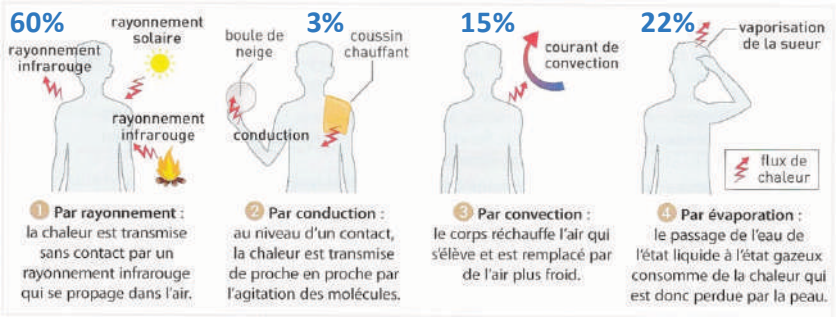
Note : Élaboration propre.

Le Dr Geoffroy Denis (2010), dans son article "Smog et chaleur, un mauvais duo", explique que "les personnes atteintes de maladies chroniques ou mentales, les personnes âgées et celles vivant dans un lieu plus exposé sont plus à risque". Cependant, les nourrissons, les travailleurs exposés à la chaleur, les femmes enceintes et la population qui présente des comorbidités (obésité, diabète, hypertension..) sont également vulnérables.

Le corps humain réagit naturellement face à la chaleur comme un mécanisme de suivi, mais il échange aussi de la chaleur par quatre mécanismes avec son environnement : 1. le rayonnement qui est responsable d'environ 60% des pertes thermiques, 2. la conduction correspondant à 3% de pertes, 3. la convection 15% et 4. l'évaporation constitue environ 22%. Connaître ces mécanismes nous offre un éventail de possibilités lors de la conception d'un espace. La figure 12 explique ces modalités. (s.f.) n/a

Figure 12 :

Les modalités des flux de chaleur entre un corps humain et son environnement

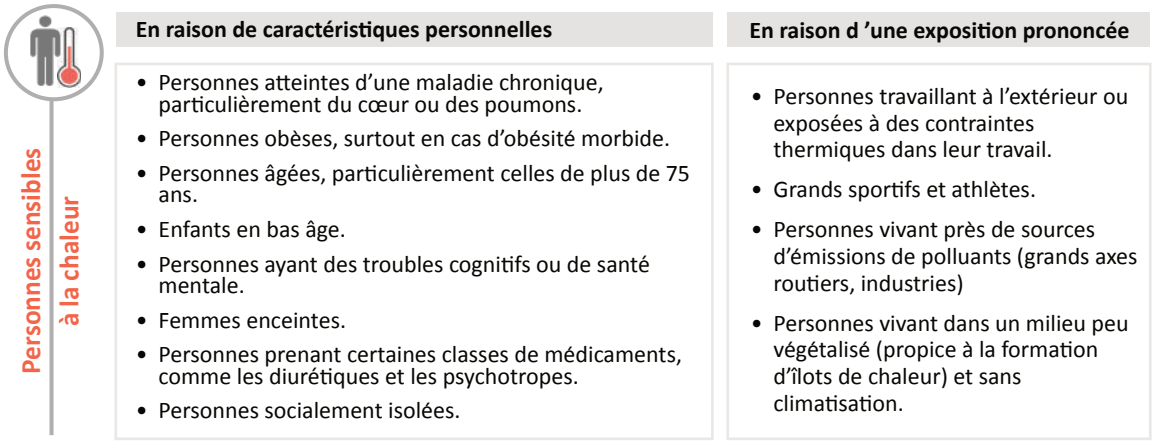


Note : Adaptée de "Chapitre 2-4 : Le bilan thermique du corps humain". (s.f.) n/a

La figure 13 résume deux groupes de personnes sensibles face à des conditions de chaleur extrêmes, l'un d'eux en raison de caractéristiques personnelles et l'autre en raison d'une exposition prononcée.

Figure 13 :

Personnes sensibles à la chaleur et à la pollution atmosphérique



Note : Adaptée de "Smog et chaleur, mauvais duo", G. Denis, 2010.

2. Les déterminants socio-économiques

Lorsque nous parlons de déterminant sociaux, nous faisons référence aux facteurs comportementaux et économiques qui ont une influence sur la santé. Il existe une gradation de la perception de l'état de santé en fonction des caractéristiques socio-économiques (Lanoë et Makdessi, 2005 ; Allonier et al.,2006). Ces facteurs sont principalement liés au niveau de revenu et au seuil de pauvreté de l'individu, qui représentent la possibilité d'avoir accès aux aliments sains, logements dignes, activités récréatives, etc. Néanmoins, il existe d'autres déterminants susceptibles d'intensifier les problèmes de santé physique et mentale tels que, les habitudes de vie, le chômage et la sécurité de l'emploi, les conditions de travail, l'insécurité alimentaire et l'exclusion sociale ou bien l'isolement.

Le Dr Denis (2010) affirme que la défavorisation sociale constitue un facteur de risque reconnu lié à la pollution atmosphérique et à la chaleur, et ajoute que les personnes qui vivent en conditions moins favorables, comportent des sources d'exposition plus importantes. Les résultats d'une enquête réalisée par l'institut de recherche et documentation en économie de la santé, prouve cette théorie. À partir des données de l'enquête décennale santé 2002-2003, le groupe de L'IRDES (2007) a comparé les données sur l'état de santé des résidents d'une zone urbaine sensible (ZUS) avec celles des personnes qui ne vivent pas dans une ZUS et a conclu que "près du tiers des résidents en ZUS (32%) se jugent en mauvaise santé contre un quart des personnes qui ne vivent pas en ZUS (26%)".

Agir sur les déterminants sociaux pour lutter contre la surchauffe urbaine doit faire partie de la stratégie d'adaptation afin de fournir à la population des outils pour contrer les effets des températures élevées. En résumé, le but est de minimiser la vulnérabilité en réduisant les inégalités et de cette manière, maximiser la résilience de la population.

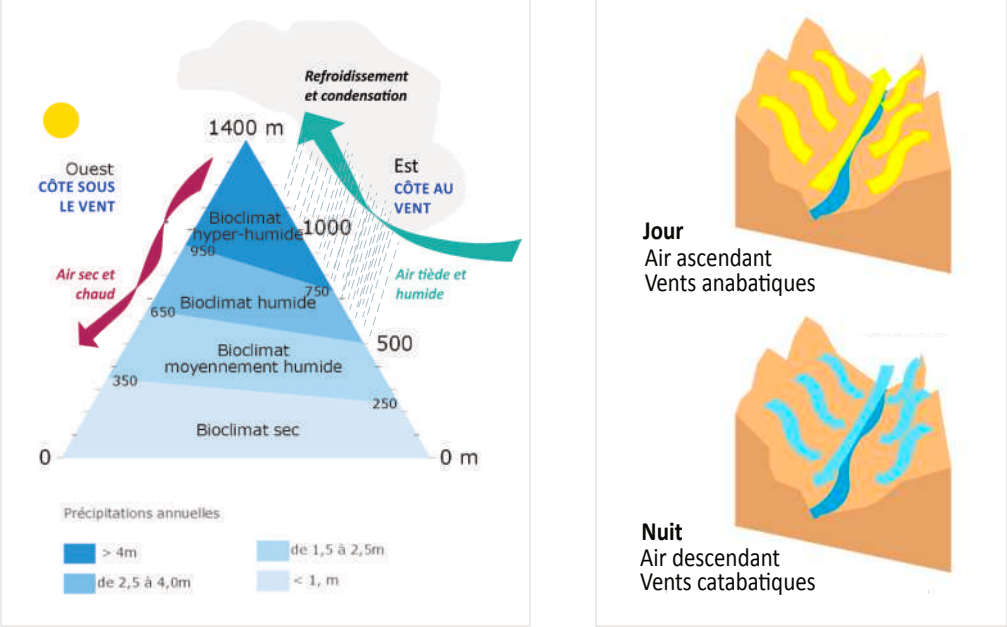
3. Les déterminants environnementaux et du cadre de vie

L'environnement dans lequel nous vivons a un impact significatif sur notre santé et notre qualité de vie. Son altération, parfois négative, peut provoquer des pathologies très lourdes. Des facteurs tels que la topographie, la qualité de l'air, l'accès à des espaces verts et à l'eau, la mobilité, etc, peuvent influencer notre santé de manière positive ou négative. Un habitat bioclimatique est un espace autour du "projet de vie" des habitants (Courgey et al., 2006). Il doit être conçu en équilibre entre les êtres vivants, l'espace naturel et l 'espace bâti.

Pour cela, il est important de comprendre le climat et l'influence du relief avant d'en venir à l'analyse des éléments de l'espace urbain qui correspondent à une micro-échelle. Le climat tropical est caractérisé par des températures élevées, une humidité importante et des précipitations abondantes tout au long de l'année. Cependant, le relief, tel que les montagnes, les vallées et les plateaux, influence fortement le climat local dû à la diminution de la couche atmosphérique, aux types de végétation et aux perturbations des vents. Le relief engendre plusieurs variétés de microclimats influencés par divers éléments tels que l'insolation de pentes et la position des lignes de crêtes par rapport à la

direction et la vitesse des vents. En général, à mesure que l'altitude augmente, la température diminue, ce qui crée des microclimats plus frais dans les zones de haute altitude. Selon Courgey (2006), les vallées sont généralement plus chaudes que les sommets durant la journée. À l'inverse, pendant la nuit l'air se refroidit et, plus lourd que l'air chaud, s'accule au fond des vallées. Le relief peut provoquer des altérations significatifs de température et de précipitations et causer l'effet foehn, qu'au contraire du mouvement d'air ascendant le jour, il s'agit d'un courant d'air sec et chaud qui descend le versant sous le vent d'une montagne. (Figure 14). Les plaines, quant à elles, peuvent favoriser la circulation des masses d'air et l'écoulement des vents, ce qui peut influencer la répartition des précipitations sur un territoire.

Figure 14 :
Étagement bioclimatique et effet fohen (à gauche). Effets catabatiques et anabatiques (à droit).



Note : Images adaptées à partir de "La végétation des Petites Antilles : principaux traits floristiques et effets plausibles du changement climatique" Joseph, P., 2011. https://doi.org/10.4000/vertigo.10886. "Manual de diseño bioclimatico urbano" Hernandez et al., 2010.

2. Généralité sur la notion bioclimatique

Du point de vue étymologique, le mot bioclimatique se compose du préfixe "bio" qui vient du mot grec bios, qui signifie "vie" ou "manière de vivre, mode de vie". Le mot "climat", quant à lui, dérive du grec ancien, "klima" qui signifie "inclinaison de la Terre vers le pôle". En combinant ces deux concepts, nous pouvons définir le terme bioclimatique comme une manière de vivre adaptée à la situation et aux conditions géographiques.

Selon Clément Gaillard "la conception bioclimatique consiste à concevoir avec ou à partir du climat. Cela signifie partir de l'étude du climat local existant, en considérant l'ensoleillement, la direction des vents, l'amplitude des températures, etc" (C. Gaillard, 2023). Les stratégies bioclimatiques doivent

être en harmonie avec l'environnement grâce à la prise en compte du climat local et l'utilisation des ressources naturellement disponibles sur le site. Ils cherchent à minimiser son impact sur l'environnement et à favoriser le confort thermique des utilisateurs. Cela passe par une optimisation de l'orientation des bâtiments par rapport au soleil, l'utilisation de matériaux locaux et naturels, ainsi que l'intégration de systèmes de ventilation naturelle pour réduire la consommation d'énergie.

D'autre part, les auteurs du livre "conception bioclimatique des maisons confortables et économes" expliquent que "l'approche écologique se fonde sur une conception globale de l'habitat considéré comme un organisme vivant situé dans son environnement et réagissant avec lui" (Courgey & Olivia, 2006). Il consiste essentiellement à optimiser les apports que le contexte environnemental lui offre, afin d'assurer une efficacité énergétique et réduire l'impact de l'homme.

Malgré que le concept "bioclimatique" soit très peu évoqué dans le domaine de l'urbanisme, contrairement au secteur architectural, celui-ci a été nommé bien avant par l'architecte et ingénieur romain Marcus Vitruvius Pollio (75-26 a.c), qui a écrit sur les relations entre l'aménagement des villes et les conditions climatiques. (M. Colombert). Les travaux réalisés par l'architecte Esther Higueras ont beaucoup contribué au développement de l'approche bioclimatique dans le domaine de l'urbanisme, en analysant l'influence des variables dans l'aménagement urbain et les critères d'optimisation environnementale. Dans son livre appelé "Urbanismo bioclimático", Higueras (2011), expose que la planification urbaine doit considérer les critères d'économie énergétique avec une exploitation adéquate des ressources naturelles afin de trouver un équilibre entre le design urbain et les variables climatiques, topographiques et territoriales de chaque ville.

Dans cette étude nous voulons accentuer le rôle de l'urbanisme dans la prévention du risque de stress thermique et dans l'atténuation des îlots de chaleur urbains avec une approche intégrale des déterminants de la santé. Conjuguer climat, aménagement et santé est un grand défi à relever à cause de la transversalité des variables et ses différentes échelles d'intervention. Pour construire des environnements sains, il est nécessaire d'avoir une appréhension du territoire dans son microclimat et son interaction à l'échelle planétaire. Une ville ne peut pas être durable par morceau, en se limitant à quelques constructions écologiques ; les villes doivent être planifiées à partir d'une vision intégrale afin d'avoir un résultat réel lors de la création d'une stratégie territoriale.

Pour nous, un urbanisme bioclimatique est avant tout, un urbanisme qui favorise la vie de toutes espèces. Les principes de conceptions bioclimatiques favorisant l'impact positif sur la santé et le bien-être nous offrent un éventail de solutions pour rafraîchir les villes tout en réduisant la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

Cette étude s'inscrit dans la recherche de paramètres de référence permettant d'atténuer la chaleur urbaine afin de faciliter le diagnostic territorial et la mise en place de stratégies d'aménagement.

3. L'espace public, un régulateur du climat urbain et promoteur de santé

L'espace public est le point de convergence entre l'individu, la société et l'espace construit. C'est l'expression de la politique publique d'une ville, un lieu de partage et de rencontre constant entre les usagers qui favorise la convivialité et détermine le rapport affectif envers la ville : "la topophilie". L'espace public se réfère généralement à tous les espaces auxquels il est possible d'accéder sans restriction, tels que les rues, les places, les parcs, les trottoirs, mais aussi les façades : "la peau des espace privés et de l'espace public" (Deckmyn, 2020). Chaque élément de l'espace public influence la façon de vivre et de percevoir l'espace. (Lynch, 1960). Pour la plupart des personnes, la relation avec l'espace extérieur joue un rôle fondamental dans la vie quotidienne. Cependant, nous oublions parfois que pour quelques uns, cet espace public est aussi leur espace "privé". Dans cette réalité, la notion du confort est vitale dans la conception urbaine, non seulement en termes de qualité du mobilier urbain, de modes de déplacements et d'accès aux activités, mais également du point de vue thermique, qui est un aspect non négligeable. La vitalité et la diversité des quartiers et des espaces publics vont dépendre des bonnes pratiques de la planification urbaine inspirée d'un modèle plus humain (Jacobs, 1961) visant à garantir des environnements agréables, accessibles et utilisables tout au long de l'année. L'espace public constitue ainsi le cœur d'une stratégie focalisée sur la bonne qualité de vie des habitants.

C'est pourquoi, il est important d'aménager la ville et l'espace public de la meilleure manière en minimisant l'impact sur les paysages environnants, en intégrant autant que possible l'eau et la nature, tout en respectant les caractéristiques culturelles.

L'urbanisme bioclimatique explore des stratégies qui cherchent à développer des environnements urbains durables et confortables. Ses principes sont axés sur l' efficacité énergétique pour améliorer le confort thermique en milieu urbain en tirant parti des éléments du climat local.

4. Les principes de conception bioclimatique qui favorisent la santé et le bien-être

L'une des principales préoccupations pour faire face au réchauffement climatique consiste à améliorer la résilience des villes en termes de confort thermique, une notion complexe à traiter par la diversité de variables qui l'influencent. Le confort thermique se réfère à la satisfaction exprimée par un individu vis-à-vis de son environnement hygro-thermique (température, humidité, mouvement de l'air et rayonnement).

Les auteurs de l'article "Arquitectura y urbanismo bioclimático : presente y futuro para el hábitat del hombre contemporáneo" ainsi que ONU Habitat offrent plusieurs stratégies capables de minimiser l'impact des futurs évènements météorologiques :

- La transformation de surfaces de sols artificielles par des matériaux hautement réfléchissants et perméables ;
- La transformation de surfaces de façades et toitures par des matériaux à faible inertie

thermique ;

- Des rues adaptées à la topographie, recherchant les orientations optimales d'ensoleillement et de vent local (Higueras, 2011);
- Des espaces verts adaptés aux besoins d'humidité et d'évaporation de l'environnement (en surface, connexion et espèces végétales appropriées (Stagno, B., & Ugarte, J., 2006) ;
- La morphologie urbaine d'îlots générant des façades bien orientées et une proportion adéquate de patios d'îlots en fonction du climat ;
- Un parcellaire qui génère des bâtiments aux façades et patios bien orientés ;
- Les diverses typologies de bâtiments adaptées aux conditions locales d'ensoleillement et de vent (Trujillo et al., 2010, p.) ;
- La prise en compte de la trame verte et bleue en affirmant des continuités de nature ;
- Une gestion de l'eau efficace ;
- La bonne isolation thermique des bâtiments (Courgey et al., 2006);
- Utilisation mixte de sol (Moreno, 2023);
- Favoriser la mixité social avec une densité adéquate ;
- Mobilité active et douce (Moreno, 2023);
- Connectivité des réseaux de transports (Kaufman et al., 2016).

Ces stratégies, adaptées aux conditions climatiques de chaque zone d'étude, permettent de concevoir des bâtiments et des espaces publics à la fois confortables et durables. Ces principes sont étroitement liés au soleil, au vent, à la végétation et aux revêtements. Nous avons détaillé les recommandations les plus importantes pour le climat tropical en fonction de ces quatre éléments.

Recommandations liées au soleil :

Le climat tropical de la Martinique est marqué par des températures élevées et une forte humidité, ce qui entraîne des zones urbaines très chaudes et inconfortables pour les piétons. Afin de réduire les effets négatifs du climat sur la qualité de vie des habitants, il est essentiel d'adapter les espaces urbains et leurs caractéristiques physiques pour assurer un confort thermique optimal.

Le livre « Ciudades tropicales sostenibles » de Stagno & Ugarte (2006) explore plusieurs idées pour améliorer la conception urbaine dans les villes tropicales. L'un des points clés abordés est l'importance de l'orientation des bâtiments dans la conception urbaine bioclimatique. En choisissant judicieusement l'orientation des bâtiments, il est possible d'optimiser l'utilisation de la lumière naturelle et de réduire l'impact des rayons du soleil.

Dans le contexte de la Martinique, Il est important que les les façades principales des bâtiments soient orientés du côté nord de manière à éviter une exposition directe au soleil pendant les heures les plus chaudes de la journée, ou en utilisant des dispositifs tels que des auvents, des pergolas ou

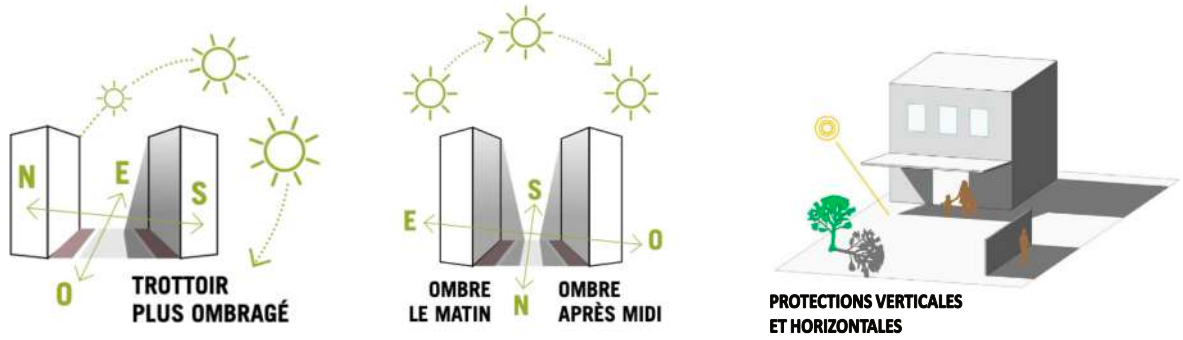
des brise-soleil pour créer de l'ombre. Les espaces tels que les ascenseurs, les escaliers, les halls d'entrée, les cuisines, le garage, les espaces de rangement, les toilettes, etc. doivent être situés sur les façades Est et Ouest, pour agir comme zones tampons contre les gains de chaleur, et bénéficier de la lumière naturelle (ONU, s.d). L'architecture joue un rôle essentiel, car chaque élément en saillie du mur peut créer de l'ombre pour les ouvertures du bâtiment ou pour les piétons, comme les galeries de certains bâtiments publics et les toitures avec de larges avant-toits.

Pour les villes tropicales, l'orientation des rues Nord-Sud est particulièrement importante, car elle permet de bénéficier de l'ombre des bâtiments la plupart du temps de la journée. Le trottoir du côté Est sera ombragé pendant le matin et celui du côté Ouest l'après-midi.

L'orientation des rues Est-Ouest, sont généralement exposées au soleil toute la journée. Cependant, le trottoir situé au Nord est plus ensoleillé (voir figure 15) ; il est donc conseillé d'aménager les espaces, si possible avec des arbres afin de protéger les piétons et empêcher le rayonnement sur la façade.

De plus, il est également préconisé de prévoir des éléments verticaux et horizontaux fournissant de l'ombre tels que des voiles d'ombrages, pergolas, de la végétation, des brise-soleil ou de compositions artistiques à base des câbles attachés aux façades, qu'en plus du confort, ils peuvent apporter une valeur esthétique, attrayante pour le tourisme. La continuité des itinéraires ombragés pour les zones piétonnes est aussi importante pour éviter les problèmes d'éblouissement dus aux contrastes de luminosité, ainsi que l'accumulation de chaleur sur les trottoirs et le rayonnement. (Fariña et al., 2013; Stagno & Ugarte, 2006).

Figure 15 :
Principes pour favoriser l'ombrage au milieu urbain



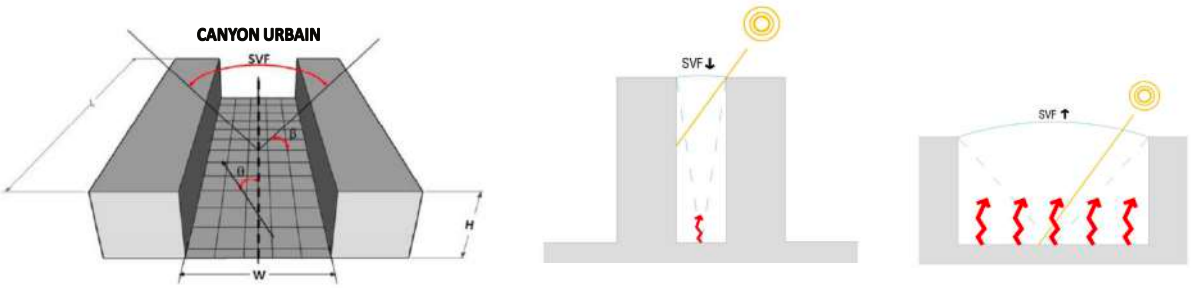
Note : Images adaptées à partir de "Aménagements provisoires pour les piétons : Tester pour aménager durablement". Cerema (2020, mai 28). http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/amenagements-provisoires-pietons-tester-amenager-durablement. Et "Manual de Diseño Bioclimático Urbano". (Fariña et al., 2013) https://www.academia.edu/40752998/Manual_de_Dise%C3%B1o_Bioclim%C3%A1tico_Urbano

D'autre part, la morphologie urbaine influence également la quantité de rayonnement qui atteint les bâtiments. Le "canyon urbain" par exemple, a été l'objet d'analyse dans de nombreuses recherches sur les îlot de chaleur urbains (ICU). Il peut être défini comme un canal délimité par des bâtiments où sa géométrie est généralement décrite par deux éléments : le rapport d'aspect qui considère la hauteur et la distance entre les bâtiments (H/W) et le facteur de ciel visible FVC ou en anglais Sky-View Factor (SVF) (Givoni, 2007). (voir figure 16).

Ces deux éléments altèrent le bilan énergétique de plusieurs manières : les canyons urbains piègent une plus grande quantité de rayonnement solaire, en raison des multiples réflexions des rayons du soleil sur les murs des bâtiments et sur la surface de la route. En conséquence, pendant la nuit, le refroidissement des surfaces est plus lent et la chaleur est difficile à évacuer par rapport à un environnement rural qui échange de la chaleur radiative avec la voûte céleste (voir figure 16). (Cabras, 2014). Le rapport H/L (hauteur des bâtiments/distance entre les bâtiments) optimal pour la ventilation des espaces urbains est de 0,6 (EHESP et al., 2020).

Figure 16 :

Schéma d'un canyon urbain et gains de rayonnement selon le SVF



Note : Images adaptées de "Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona : Estudio del comportamiento térmico de calles urbanas con diferente relación de aspecto (h/w) y orientación en dos barrios de Barcelona" Cabras, E. (2014). https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23641

<u>Recommandations liées au vents</u> :

Les petites Antilles sont soumises à des vents forts et réguliers tout au long de l'année. Ces conditions favorisent le confort thermique des habitats et pour mieux profiter de cet avantage, il est nécessaire de connaître le mouvement du vent en milieu urbain. Selon le document "Manual de diseño bioclimático urbano" (Fariña et al., 2013), les vents influencent l'évapotranspiration et le confort thermique des espaces publics. La connaissance des conditions météorologiques locales et des caractéristiques du bâti est importante pour évaluer leur impact. En effet, les bâtiments peuvent soit bloquer les flux de vent, soit augmenter leur vitesse.

Au milieu urbain, plusieurs phénomènes peuvent se présenter, parmi eux, les plus récurrents sont :

- L'effet d'angle du bâtiment, dont la vitesse de l'air augmente dû au contact d'une zone de

surpression avec une zone de dépression. Cet effet est d'autant plus important que la hauteur du bâtiment est élevé ;

- L'effet venturi, qui est une dépression localisée provoquée par une augmentation de la vitesse de l'air. Pour que ce phénomène se produise, la séparation entre obstacles dans le rétrécissement doit être comprise entre 0,5 et 4 fois leur hauteur ;

- L'effet rouleau produit à la base des façades ou des obstacles exposées au vent dont la hauteur dépasse les 15 mètres. Il se crée un effet de tourbillon où le flux du vent décent et crée un mouvement circulaire au contact avec le sol ;

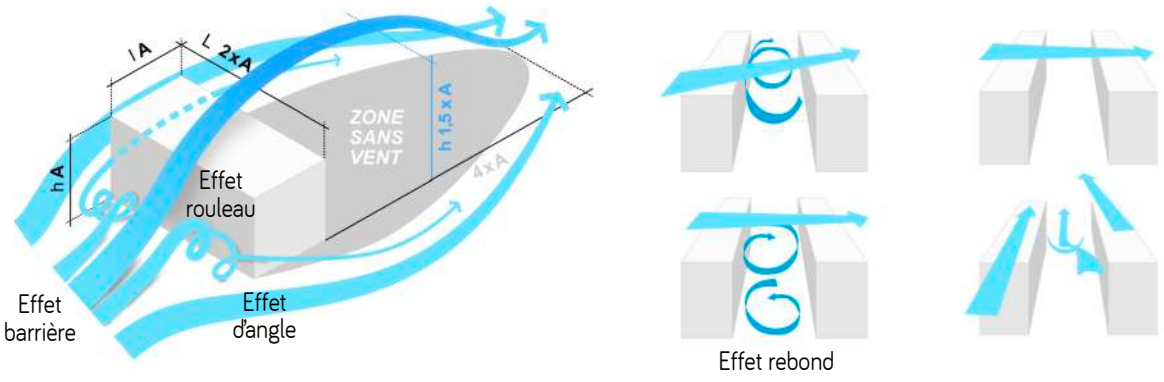
- L'effet de rebond s'agit d'un tourbillon, mais à l'arrière du bâtiment du côté sous le vent. Son ampleur est proportionnelle à la taille du bâtiment, jusqu'à quatre fois la hauteur de ce dernier et la largeur des côtés peut aller jusqu'à deux fois la largeur du bâtiment ;

- L'effet barrière consiste à la diminution ou l'annulation de la vitesse du vent par l'interposition d'un obstacle. La protection est maximale lorsque la longueur de la barrière est au moins dix fois supérieure à sa hauteur. Lorsque les vents dominants ont une vitesse supérieure à 10m/s, il est conseillé d'utiliser des écrans végétaux comme barrière contre le vent. (Fariña et al., 2013)

L'orientation de la rue par rapport aux vents dominants affecte la vitesse du vent. Si la rue est perpendiculaire aux vents, la vitesse est réduite et des tourbillons se forment. Si les vents sont parallèles aux rues, le vent s'introduit plus facilement sans tourbillons. Les zones près des bâtiments hauts ou des angles sont sujettes aux turbulences. Pour créer une zone stable dans ces endroits, des éléments de protection sont recommandés (Fariña et al., 2013), (Voir figure 17).

Figure 17 :

Phénomènes du vent en milieu urbain



Note : Images adaptées à partir de "Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas." (Fariña et al., 2013)

Recommandations liés aux revêtement :

Le principe d'inertie thermique représente l'aptitude d'un matériau à accumuler de la chaleur puis à la restituer. Plus son niveau d'inertie est forte, plus la surface est capable de stocker la chaleur (Courgey, 2016). La capacité de conductivité, la capacité thermique massive et la densité (Valette, 2010) sont les trois paramètres dont dépend cette aptitude.

Les surfaces telles que les murs, les toitures et les sols peuvent être conçus de manière à réguler la température urbaine et devenir performantes face à ce phénomène. Pour évaluer l'efficacité des matériaux et minimiser les îlots de chaleur urbains, de nombreuses études ont été menées (Valette, 2010 ; Blancot, 2017 ; Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 2021 ; Haddak-Bayce, 2020 ; Science & Vie, 2018 ; a'urba, 2020 ; Cerema, 2021). Le livre "conception bioclimatique, des maisons confortables et économes" (Courgey et al., 2016), présente une liste des matériaux très complète avec les détails des caractéristiques thermiques.

Cependant, les caractéristiques physiques peuvent faciliter les choix d'un revêtement. Les matériaux plus rugueux réduisent la vitesse du vent et la convection naturelle, par conséquent, dans les villes tropicales où il fait chaud, il convient de choisir des matériaux et des surfaces plus ou moins lisses. L'utilisation combinée d'eau et de matériaux poreux réduit également l'apport de chaleur des matériaux dans l'air en raison de l'évaporation de l'eau. En effet, lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux, elle consomme une partie de l'énergie présente dans son environnement et fait ainsi baisser la température de l'air. (Beltrando, 2004).

En ce qui concerne les murs dits performants, ils sont conçus pour réduire la conductivité thermique. Cela signifie qu'ils ont la capacité de réduire les pertes de chaleur durant les périodes fraîches et les gains de chaleurs pendant les périodes chaudes. Pour le climat tropical, il est fortement recommandé d'utiliser des revêtements à faible inertie thermique pour éviter l'accumulation de chaleur tels que la terre, le bois claire, ou des peintures claires et réfléchissantes ou bien, opter pour la végétalisation de façades (Pommier et al., 2014) avec les plantes grimpantes ou de jardins verticaux.

Tout comme les murs, les toitures peuvent être conçues de manière à réduire les gains de chaleur. Pour les toits plats, les toitures végétalisées ou les potagers surélevés, sont particulièrement efficaces pour réguler la température en absorbant une partie du rayonnement solaire, tout en évapotranspirant de l'eau (Cerema et ADEME, 2021; Pommier et al., 2014; Fariña et al., 2013). Il existe également, des toitures réfléchissantes permettant de réduire les gains de chaleur durant les périodes de forts ensoleillement. Les panneaux solaires peuvent constituer une alternative permettant d'atteindre le même objectif en produisant de l'énergie renouvelable.

Les matériaux des sols ont également un impact très important dans le confort thermique, car ils occupent une grande partie de l'espace public et parce que c'est la surface qui est en contact direct

avec l'individu lorsqu'il marche. Le béton et l'asphalte sont des matériaux avec une forte inertie thermique. Il est recommandé de les éviter lorsque cela est possible ou de les protéger du soleil afin de minimiser l'exposition au rayonnement solaire. La végétalisation est donc une solution envisageable pour certains cas. Lorsque le sols est perméable, cela permet à l'eau de s'infiltrer dans le sol plutôt que de s'écouler, ainsi le évaporation de l'eau et la transpiration des végétaux peut rafraîchir l'air. Pour les espaces des stationnement, il est également possible d'utiliser des revêtements tels que des pavés alvéolés, dalles composées d'alvéoles de ciment dans lesquelles l'herbe peut pousser (Vallette & Cordeau, 2010).

En revanche, le stabilisé n'a aucune capacité de stockage d'énergie, mais il est un bon isolant thermique. Le gazon est le meilleur type de sol, car il ne possède aucune inertie thermique et devient rapidement froid le soir (Blancot, 2017).

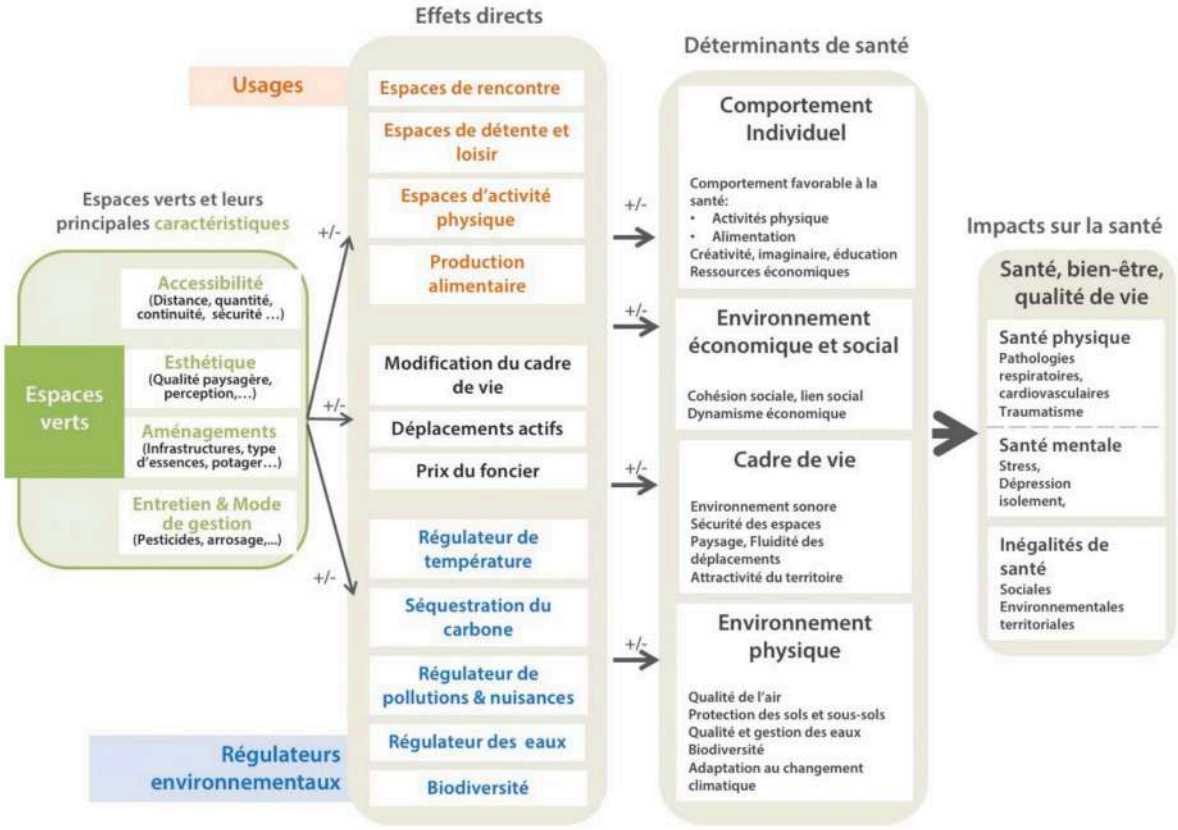
La performance de la végétation

Les espaces verts en milieu urbain a fait l'objet d'analyses approfondies selon divers cadres conceptuels, démontrant comment le végétal peut avoir un effet positif sur différents déterminants de la santé et les îlots de chaleur urbains (ICU). Une revue de littérature réalisé pour l'institut national de santé publique de Quebec à répertorié une grand nombre d'études traitant ce sujet (Beaudoin et al., 2017). Parmi les effets les plus importants nous pouvons citer, la promotion de l'activité physique, la réduction du stress, le renforcement de la cohésion sociale, l'amélioration de la qualité de l'air, la diminution du bruit, la régulation de la température, la préservation de la biodiversité et la réduction des risques d'inondation (Réseau français des Villes-Santé de l'OMS, 2020 ; Manusset, 2012 ; WHO, 2021). La figure 18 explique dans un cadre conceptuel les liens entre les espaces verts et la santé.

La végétation a un effet important sur le microclimat urbain. Il a été démontré que la combination de différents types de solutions vertes permet le rafraîchissement, l'amélioration du confort thermique et la réduction de la demande en climatisation (Cerema, 2021). Les espaces verts réduisent aussi le bruit, les polluants, la poussière, l'ozone, et les métaux lourds (Vida, 2011). De plus, l'ombrage réduit la quantité de rayonnement solaire direct et indirect qui atteint la surface, limitant ainsi l'échauffement (Berardi, 2015). En effet, les arbres, avec leurs feuilles, absorbent le rayonnement solaire incident, réduisant ainsi les gains de chaleur (Fariña et al., 2013).

La végétation absorbe 70% du rayonnement solaire qu'elle reçoit. Les façades végétalisées réfléchiront moins de rayonnement solaire vers les autres éléments de la rue (façade opposée, sol et passant). De la même manière, les toitures végétalisées et les surfaces de sols enherbées vont modifier les effets du piégeage radiatif (Pommier et al., 2014).

Figure 18 :
Effets des espaces verts sur la santé



Note : Image reproduite à partir de "Éléménts de préconisation. Espaces verts urbains. Promouvoir l'équité et la santé". Réseau français des Villes-Santé de l'OMS. (2020)

La règle de 3-30-300 inventée par le forestier urbain, Cecil Konijnendijk (2021), établi des recommandations concrètes pour maximiser les bienfaits des espaces verts en ville. Cette règle suggère de voir 3 arbres depuis son habitation, habiter dans un quartier avec une couverture végétale d'au minimum 30 % (Deboeuf De Los Rios et al., 2022) et avoir accès à un parc ou à une forêt à moins de 300 mètres. Cependant, en termes de confort thermique, une couverture supérieur à 45 % et le nécessaire pour pouvoir rafraîchir l'espace urbain et minimiser l'impact de l'ICU (Deboeuf De Los Rios et al., 2022).

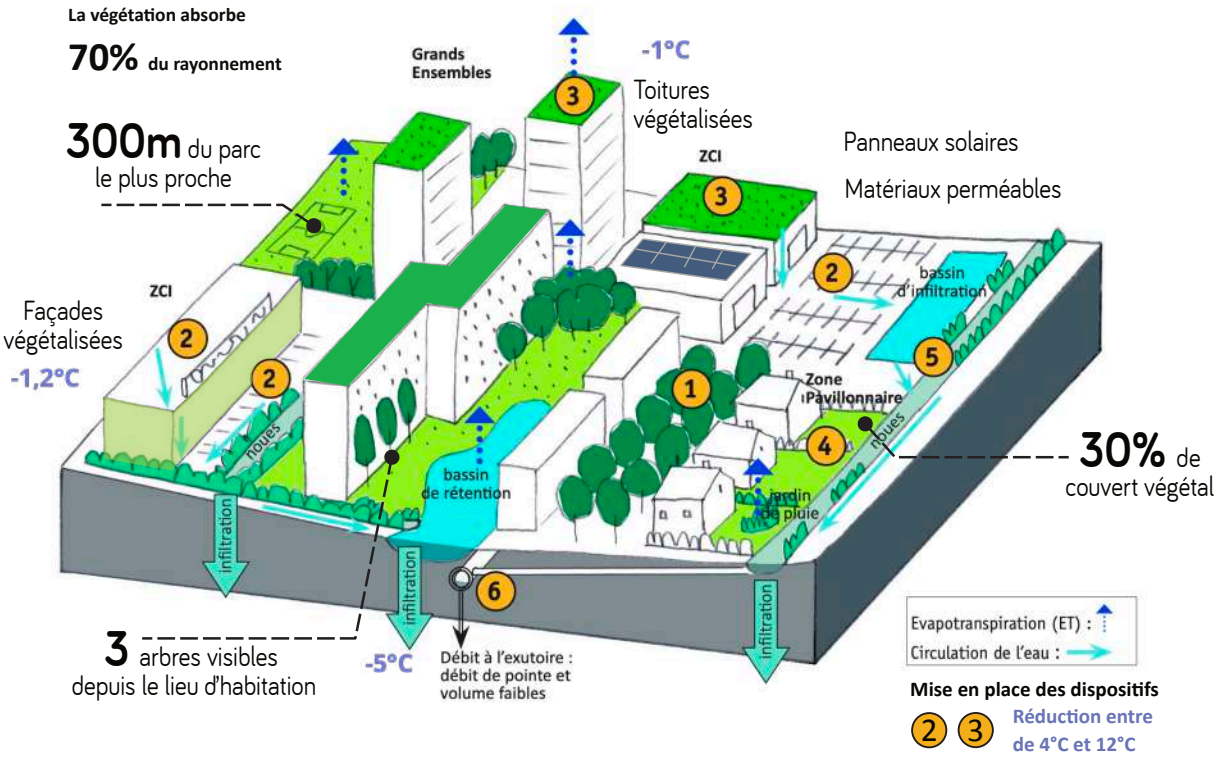
Par ailleurs, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande au moins 10 m² des espaces verts par habitant. À savoir qu'un un espace vert désigne, en urbanisme, tout espace publics ou semi-publics végétalisé en milieu urbain. Ce ratio n'est valable que si les espaces verts sont accessibles, à moins de 10 à 15 minutes de marche. (Voir figure 19).

Recommandations liées à la végétation:

- Privilégier des plantes peu allergisantes ;
- Favoriser la mixité végétale fin de développer la biodiversité ;
- Choisir des plantes et d'arbres résistantes au stress hydrique, adaptées au changement climatique et à la pollution ;
- Intégrer des arbres fournissant un grand quantité d'ombre ;
- Choisir des végétaux de composition indigène, robustes et issus de filières de production locale (Société du Grand Paris, 2022) ;
- Favoriser l'installations de toitures et façades végétalisées (Pommier et al., 2014) ;
- Créer des lieux d'expérimentation (Société du Grand Paris, 2022) ;
- Bien dimensionner les végétaux par rapport à l'espace disponible (Cerema, 2022) ;
- Anticiper l'évolutivité de la végétation (a'urba, 2020).

Figure 19 :

Dispositifs de végétalisation permettant de gérer l'ICU et les eaux pluviales



Note : Image adaptée à partir de "Programme de recherche VegDUD - Impacts du végétal en ville". De Pommier et al., (2014).

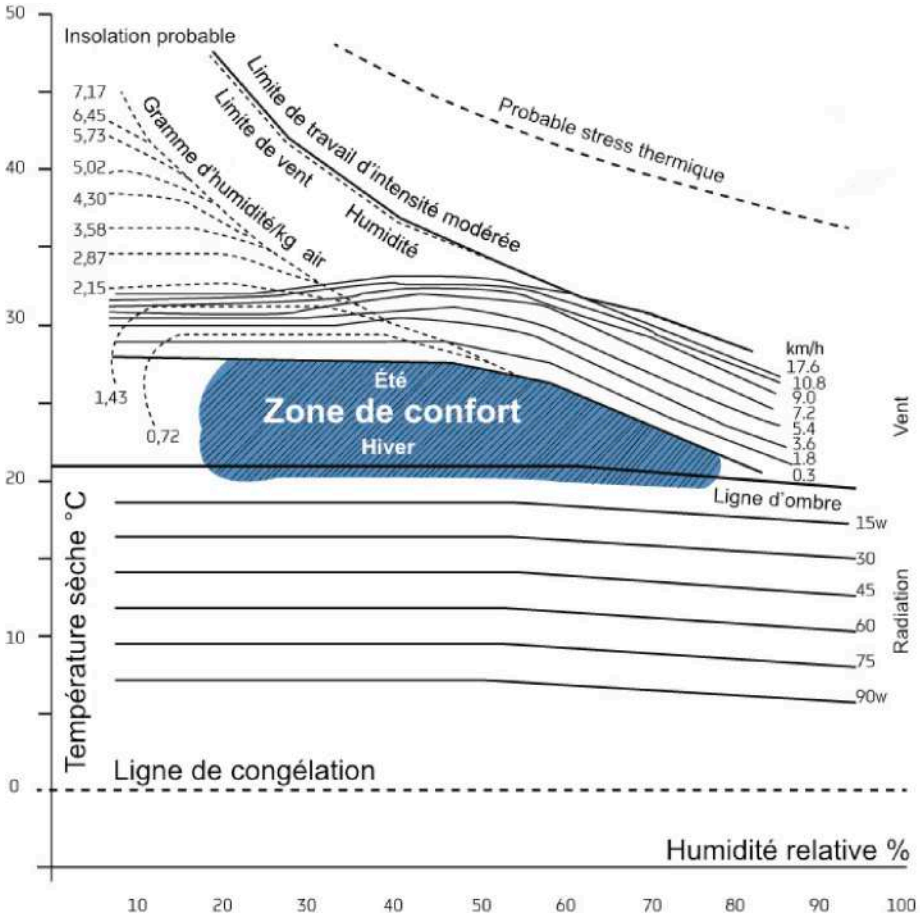
En somme, toutes les caractéristiques de l'espace public peuvent contribuer à minimiser les impacts du réchauffement climatique et des îlots de chaleur urbains en régulant la température, en améliorant la qualité de l'air et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

4. Outils et indicateurs du confort thermique

Des outils de planification basés sur le climat ont été proposés par plusieurs auteurs à travers le monde, permettant de déterminer les zones de confort en fonction des paramètres météorologiques. L'un d'entre eux est la carte bioclimatique d'Olgyay, élaborée par le chercheur hongrois Victor Olgyay dans les années 1950, qui reste d'actualité dans le domaine de l'architecture bioclimatique (voir figure 20). Elle est basée sur trois paramètres principaux : la température, l'humidité et le vent. En fonction des paramètres d'un espace donné, la carte fournit des recommandations sur les stratégies de conception bioclimatique à privilégier. Cette approche permet de réduire les consommations énergétiques des bâtiments, de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, et d'améliorer la qualité de vie des habitants.

Figure 20 :

Carte bioclimatique d'Olgyay



Note : Image adaptée à partir de "Construcción Bioclimática el futuro inmediato" Mundo hvacr, 2016. https://www.mundohvacr.com/2013/10/construccion-bioclimatica-el-futuro-inmediato/

Pour analyser le confort thermique en milieu urbain dans les zones tropicales, plusieurs études ont été menées afin de comparer les indicateurs les plus appropriés (Chen and Ng, 2012, Rupp et al., 2015, Coccolo et al., 2016). Cependant, selon la thèse récente de Virginie Grosdemouge (2021),

"aucune méthodologie standardisée n'existe pour les enquêtes de terrain, le traitement des données ou encore la calibration des indices de confort thermique".

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi d'analyser trois indices à titre indicatif : l'indice de chaleur (Heat Index, HI), la température du globe humide (Wet Bulb Globe Temperature, WGBT) et l'Universal Thermal Climate Index (UTCI) qui sont adaptées au climat chaud et en milieu extérieur.

L'indice de chaleur (HI) a été développé dans les années 70 par l'Américain Steadman et sert à mesurer l'impact que provoque la combinaison de l'humidité et de la température, tels que les risques de coup de chaleur, d'insolation ou de déshydratation. Plus l'humidité relative de l'air est élevée, plus l'évaporation de l'humidité par la peau (sueur) est inefficace ou lente, car l'air ambiant a du mal à absorber cette humidité supplémentaire. (Voir figure 21).

Figure 21 :
Échelle de l'indice de chaleur (HI)

Humidité %

Température °C	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

up to 29 °C	No discomfort
30 °C to 34 °C	Slight discomfort
35 °C to 39 °C	Caution: Limit intensive physical activity
40 °C to 45 °C	Warning: Avoid physical activity
46 °C to 53 °C	Danger: Overheating, stop all activities
above 54 °C	Danger: Potentially fatal heat stroke

Note : Image reproduite à partir https://fr.trotec.com/produits-et-services/appareils-de-mesure/climat/appareils-de-mesures-climatiques/thermohygrometre-bc25/

Le WGBT, quant à lui, a été développé par l'armée américaine dans les années 50 et prend en compte, en plus de la température de l'air, la température humide et la température du rayonnement solaire. Il est utilisé pour estimer le risque de traumatismes liés au stress thermique et permet de déterminer si une personne est capable de travailler ou de pratiquer des activités sportives dans

une certaine ambiance pendant une période de 8 heures. Les variables telles que l'apport solaire et l'évaporation de la sueur sécrétée par les glandes sudoripares, qui favorisent le transfert de chaleur du corps à l'environnement, sont prises en compte dans le calcul de l'indice WBGT.

Figure 22 :
Échelle de l'indice WGBT (Wet Bulb Globe Temperature)

Couleur du drapeau d'avertissement	Risque	Effet	WBGT °C	WBGT °F
Noir	extrême	Coup de chaleur	plus de 28 °C	plus de 82 °F
Rouge	élevé		23 °C à 28 °C	73 °F à 82 °F
Orange	modéré		18 °C à 22 °C	65 °F à 72 °F
Vert	faible		moins de 18 °C	moins de 65 °F
Blanc	croissant	Hypothermie	moins de 10 °C	moins de 50 °F
Source : American College of Sports Medicine				

Note : Image reproduite à partir de https://fr.trotec.com/produits-et-services/appareils-de-mesure/climat/appareils-de-mesures-climatiques/thermohygrometre-bc25/

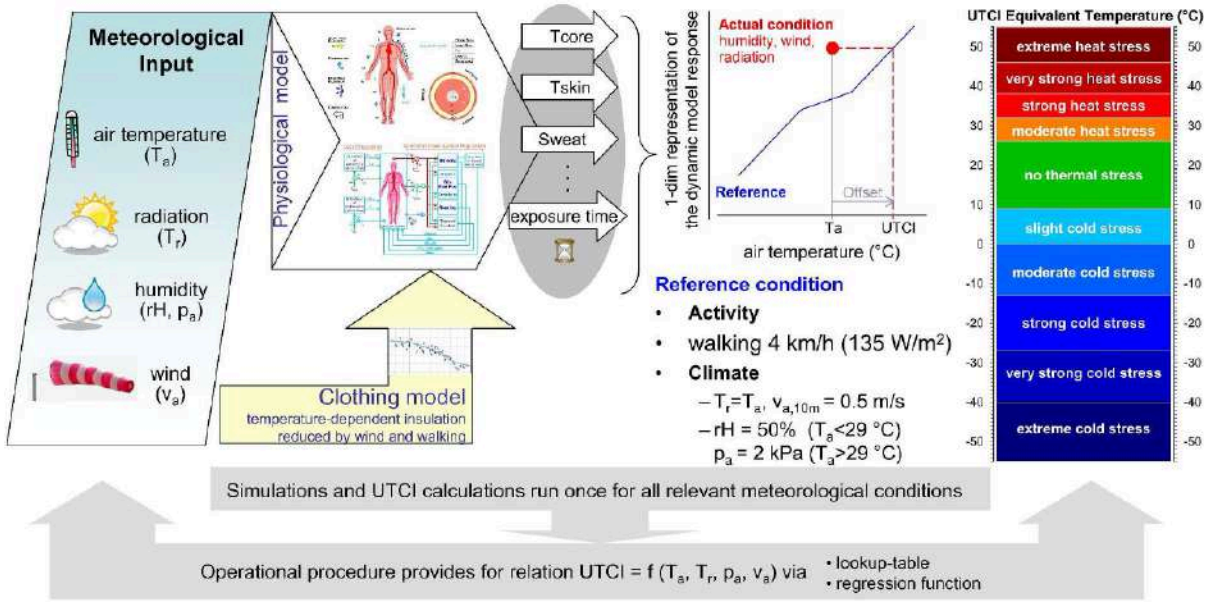
L'UTCI, Universal Thermal Climate Index développé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) est un indicateur de mesure qui a pour but de définir les conditions climatiques permettant le confort thermique du corps humain. Nous avons sélectionné l'UTCI parmi ses concurrents en raison de son estimation plus fine du confort thermique, dû à un nombre de facteurs considérés plus élevé : température de l'air, vitesse de l'air, température radiative moyenne et taux d'humidité. De plus, l'indice universel du climat thermique serait l'un des indicateurs les plus utilisés. (Voir figure 23).

Pour réaliser ce calcul complexe pour évaluer le confort thermique, nous avons utilisé un calculateur d'UTCI. Il est disponible sous forme d'un tableau Excel en libre service sur le site de Citizen Science Project à l'adresse suivante https://citizenscienceproject.org.au/resources-for-citizens/thermal-comfort-tool/

Malgré son universalité, il n'est pas rare de voir cette l'échelle de résultat recalibrée par rapport à l'environnement dans lequel les mesures ont été prises. Dans notre cas, notre choix s'est porté sur l'échelle adaptée au climat tropical de Virginie Grosdemouge. Selon l'échelle standard, la zone de neutralité est considérée entre 9 et 26°C. D'après ses recherches, la zone de neutralité thermique à considérer pour un milieu tropical est comprise entre 20,6 et 28,5°C (V. Grosdemouge, 2021), ce qui signifie qu'un espace urbain extérieur sera considéré comme ayant le niveau de confort requis s'il se situe dans la plage définie précédemment pour chaque indice. (Voir figure 24).

Figure 23 :

Éléments de la procédure opérationnelle et du concept d'UTCI



Note : Image adaptée à partir de "Extending the Universal Thermal Climate Index UTCI towards varying activity levels and exposure times". Bröde et al., 2016. https://www.semanticscholar.org/paper/Extending-the-Universal-Thermal-Climate-Index-UTCI-Br%C3%B6de-Kampmann/96c8813db9905f02982eb099e5b7546f3ce5a031

Figure 24 :

Echelle de l'UTCI avec la calibration pour climat tropical réalisé par Virginie Grosdemouge

Sensation thermique	UTCI (°C) Echelle d'origine (Bröde et al. 2011)	Echelle UTCI calibrée Athènes (°C)	Echelle UTCI calibrée Hong-Kong (°C)	Echelle UTCI calibrée Melbourne (°C)	Echelle UTCI calibrée Saint-Pierre Globe noir (°C)	Echelle UTCI calibrée Saint-Pierre Globe gris (°C)
Neutre	**9 - 26**	**16-24**	**18-29**	**15-24**	**19*-29**	**21*-29**
Légèrement chaud	26 - 32	24-32	29-40	24-34	29-40	29-36
Chaud	32 à 38	32-40	40-52	34-43	40-50	36-44
Très chaud	38 à 46	40-48*	52-63*	43-53*	50-60*	44-52*
Extrêmement chaud	>46	>48*	>63*	>53*	>60*	>52*

*Valeurs obtenues par extrapolation de la droite de régression linéaire

Note : Tableau adapté à partir de "Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers" de Grosdemouge, 2021. [Phdthesis, Université de la Réunion]. https://doi.org/10/document

Autre indice de confort thermique en milieu urbain est le PET (Physiological Equivalent Temperature) qui intègre la température de la peau et du corps, le taux de transpiration, et la vêture (Cerema, 2017). Pour le calculer il est nécessaire d'utiliser un logiciel comme Envi-met. Dû à son coût d'acquisition élevé et à la nécessité d'un temps d'apprentissage pour le maîtriser, nous n'avons pas pu le calculer. Cependant, il a été retenu pour documenter les travaux réalisés en climat tropical.

La thèse de Grosdemouge (2021) a également évalué et calibré cet indice sur base de mesures microclimatiques combinées à des études de terrain. Ceci a permis de redéfinir la zone de neutralité thermique (zone de confort thermique) par rapport à l'échelle d'origine. L'analyse de l'étude a suggéré d'utiliser les résultats du globe gris, qui semblent plus précis. Cette nouvelle zone de neutralité thermique pour le climat tropical se situe entre 16,1 et 26,9°C. (Figure 25).

Figure 25 :

Echelle de l'indicateur PET avec la calibration pour climat tropical réalisé par Virginie Grosdemouge

Sensation thermique	TSV	Echelle PET d'origine (°C)	PET calibrée Curitiba (°C)	PET calibrée Rio (°C)	PET calibrée Rome (°C)	PET calibrée Taichung (°C)	PET calibrée Saint-Pierre Globe noir(°C)	PET calibrée Saint-Pierre Globe gris (°C)
Neutre	**-0,5-0,5**	**18-23**	**13 -25**	**9* -22**	**21 - 29**	**21 - 30**	**14* -27**	**16* -27**
Légèrement chaud	0,5-1,5	23-29	25 - 37	22 -36	29-37	30 - 38	27 -41	27 -38
Chaud	1,5 -2,5	29-35	37-49*	36-49	37 -45*	38 -47*	41-54*	38-49*
Très chaud	2,5-3,5	35-41	49*-61*	49-63*	45*- 53*	47* - 55*	54*-67*	49*-59*
Extrêmement chaud	> 3,5	>41	>61*	>63*	>53*	>55*	>67*	>59*

*Valeurs de PET obtenues par extrapolation de la droite de régression linéaire

Note : Tableau adapté à partir de "Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers" de Grosdemouge, 2021. [Phdthesis, Université de la Réunion]. https://doi.org/10/document

III / Santé - Environnement - Climat : Un approche écosystémique de l'aménagement urbain

CHAPITRE 4 : État des lieux à l'échelle de Martinique

Afin de faciliter la collecte d'informations, nous avons croisé les données de plusieurs enquêtes réalisées sur le territoire et ressorti les données liées à la santé et au problème de la surchauffe urbaine tels que : part de la population souffrant d'une maladie chronique, cause de décès, taux de mortalité, etc. Au niveau socio-économique, nous avons retenu : les habitudes de vie, le revenu moyen et le taux de pauvreté.

Pour obtenir les informations environnementales concernant l'espace physique et la pollution de l'air, de l'eau et des sols, nous nous sommes basés sur les bulletins de Madininar, Météo France et tout particulièrement sur le dernier diagnostic régional de la DEAL "santé environnement". Les données plus pertinentes ont été récapitulées dans une fiche résumé. (Annexe 1 et 2)

Démographie de la Martinique

Selon l'institut national de la statistique et des études économiques (Insee) datant de janvier 2019, 364 508 personnes habitent en Martinique, répartis dans 34 communes, elles-mêmes regroupées en 3 communautés d'agglomérations. D'une superficie de 1 128 km², la Martinique est une région densément peuplée, avec 318 habitants par km² en moyenne, presque trois fois supérieure à la moyenne nationale (116,5 hab./km²). (DEAL, 2021).

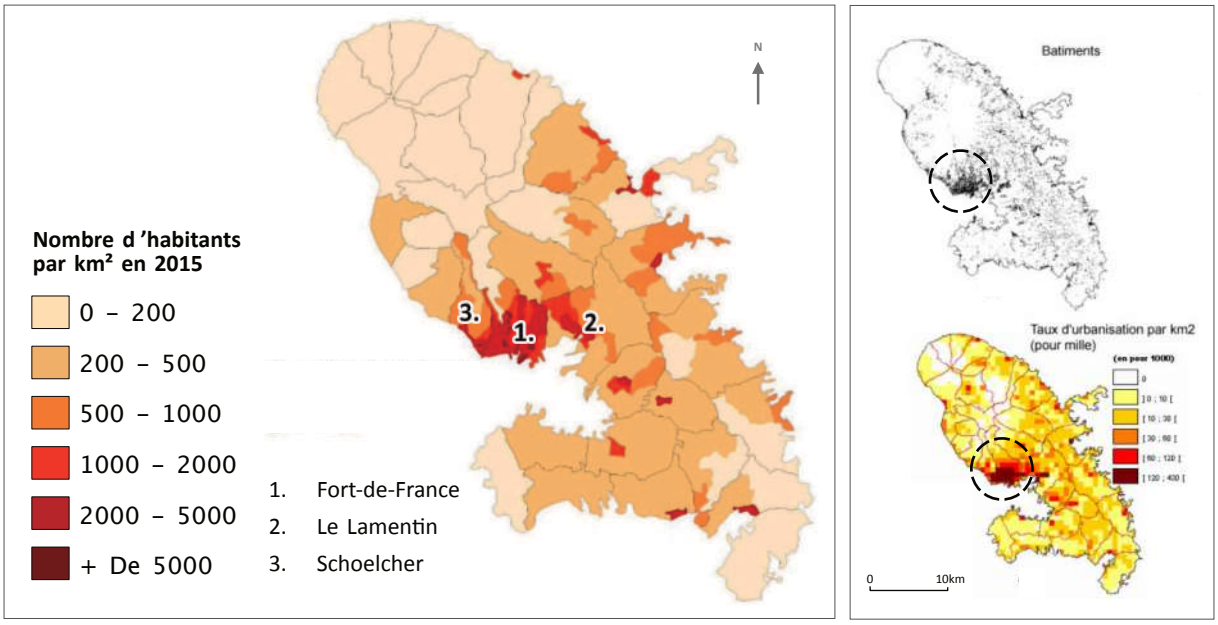
Comme il est illustré dans la figure 26, la population est inégalement répartie sur le territoire. La majorité des martiniquais résident dans les communes de Fort-de-France, Le Lamentin et Schoelcher, constituant un centre urbain densément peuplé. Zones exposé aux possibles îlots de chaleur urbains.

Concernant la structure par âge, une étude publiée en mai 2021 sur les enjeux du vieillissement en Martinique assure que "À l'horizon 2030 – 2050, la Martinique deviendra ainsi le département le plus vieillissant de France avec un déséquilibre actifs/seniors préjudiciable à la prise en charge de ses aînés." (ALOGIA Groupe, 2021, p. 4) Une crise démographique qui est liée à deux phénomènes, le déficit migratoire à cause des départs des plus jeunes et la baisse de natalité.

La figure 27 situe, au niveau géographique, la part de la population des 75 ans et plus en 2015. Nous pouvons apprécier que le Nord de l'île, à la population la plus ancienne, suivie de la commune de Fort-de-France et du Vauclin, situées respectivement au centre et au Sud-Est de l'île. D'autre part, la figure 28 nous informe sur la structure de la population en Martinique en 2020 et à l'horizon 2050, mettant en évidence que plus de 50% de la population atteindra les 65 ans et plus d'ici 2050, année où les températures seront encore plus élevées, selon les prévisions du GIEC.

Figure 26 :

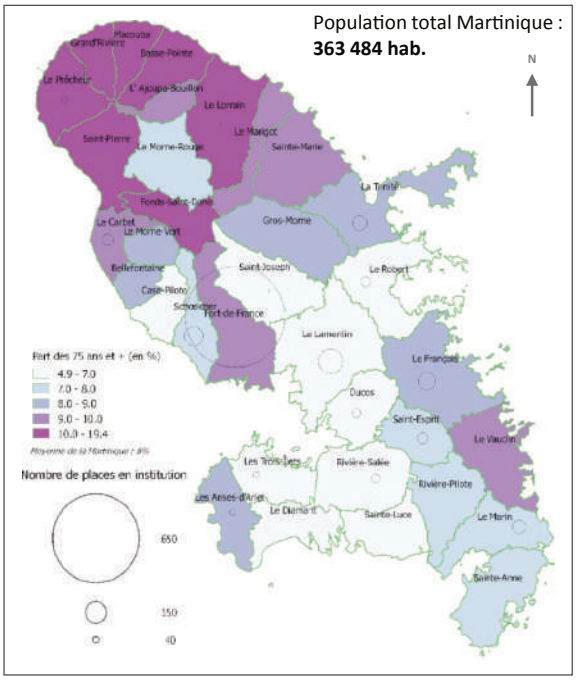
Densité de la population, bâtiments et taux d 'urbanisation.



Note : Cartes adaptées à partir de "Diagnostic régional santé environnement, recensement de la population – Population par IRIS Insee, 2016". DEAL, 2021. Et "Chapitre 11 : L'apport des nouvelles technologies de l'information à l'amélioration de la surveillance et du contrôle de la dengue" (p.127-147). IRD. Barbazan, 2003.

Figure 27 :

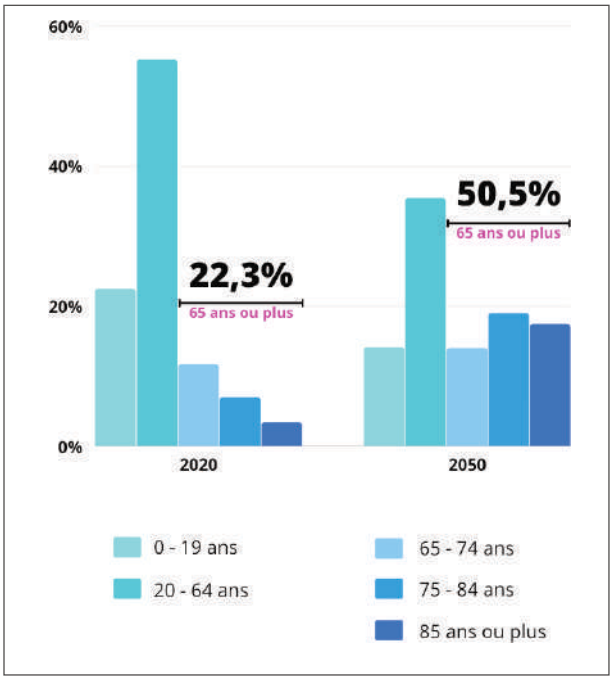
Population de 75 ans et plus 2015



Note : Carte reproduite de "Séniors en Martinique : Un enjeu économique", Insee, 2016.

Figure 28 :

Structure de la population en Martinique en 2020 et 2050



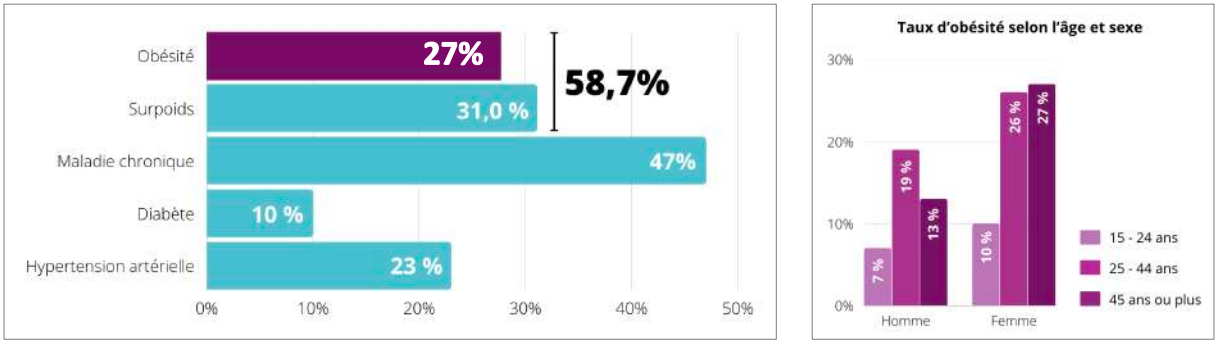
Note : Élaboration propre à partir de "La Martinique face à une transition démographique sans précédent. Fatalité ou opportunité à agir collectivement ?" Alogia groupe, 2021.

État de santé de la population en Martinique

Les dernières décennies en Martinique ont été marquées par une forte progression de surpoids, d'obésité et de maladies chroniques telles que le diabète et l'hypertension artérielle. L'obésité particulièrement, est un facteur de risque indirect face à la hausse des températures, car elle rend la population vulnérable en étant sujette au développement de nombreuses pathologies chroniques comme le diabète, l'hypertension artérielle, les maladies cardio-vasculaires et certaines affections respiratoires.

La lutte contre le surpoids et l'obésité est devenue un enjeu majeur de la politique de santé en Martinique, car après plusieurs enquêtes de santé (KANNARI, 2015., DEAL, 2021., Fourcade et al.) plus de la moitié de la population martiniquaise était en surpoids ou obèse avec une différence marquée entre les hommes et les femmes. La figure 29 recueille les statistiques des études réalisées en relation avec l'état de santé des Martiniquais.

Figure 29 :
Part de la population souffrant d'une maladie chronique ou morbidité 2019.



Note : Élaboration propre à partir de "Statistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane", ARS, 2019. Et "Premiers résultats de l'enquête santé européenne (EHIS) 2019". A. Leduc et al. 2021.

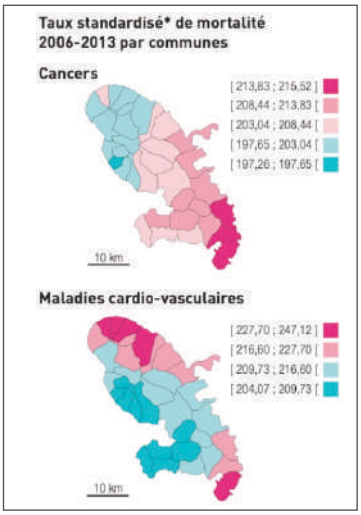
Mortalité

Les trois principales causes de décès sont les cancers, suivis des maladies cardio-vasculaires et des états morbides mal définis. En Martinique, les taux standardisés de mortalité par maladies vasculaires cérébrales atteignent 75,3 décès pour 100 000 habitants (DEAL, 2021). Nous pouvons constater dans la figure 30, les nombres de décès en fonction de la maladie, ainsi que sa localisation.

Figure 30 :

Nombre de décès tous âges, selon la cause en 2015 et taux de mortalité par communes.

Causee de décès tous âges en 2015	Hommes	Femmes
Maladies infectieuses et parasitaires	42	36
dont sida et V.I.H.	5	3
Tumeurs	**406**	**400**
Maladies endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques	95	115
Troubles mentaux et du comportement	38	31
dont abus d'alcool (y compris psychose alcoolique)	13	2
Maladies du système nerveux et des organes des sens	**101**	**124**
Maladies de l'appareil circulatoire	**351**	**398**
Maladies de l'appareil respiratoire	84	86
Maladies de l'appareil digestif	69	62
Maladies de l'appareil génito-urinaire	36	33
Causes externes de blessure et empoisonnements	127	49
dont suicides	18	2
dont accidents de transport	22	3
Symptômes, états morbides mal définis et autres causes	**167**	**207**
Total toutes causes	**1 516**	**1 541**



Note : Adaptés à partir de "Statistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane", ARS, 2019. Et "L'état de santé de la population en France" Fourcade et al., 2017

Habitudes de vie de la population de Martinique

Au niveau culturel, un modèle corporel particulier est apprécié chez les femmes. Un corps rond est très valorisé aux Antilles puisqu'elle est associé à la féminité et à la maternité. Cela explique certains comportements sociaux. Sur la figure 31, nous voyons les habitudes de vie des martiniquais en termes d'alimentation, d'activité physique et de mode de vie sédentaire.

Figure 31 :

Indicateurs sur l'alimentation et l'activité physique, population de 15 ans ou plus

Activité physique et alimentation	en %
Au moins 1 trajet à pied de 10 min ou plus par semaine	57
Au moins 1 trajet à vélo de 10 min au plus par semaine	4
Au moins 30 min de marche ou vélo par jour (OMS)	17
Sport en semaine	35
Au moins 10 min de sport par semaine	21
Excès de sédentarité (420 minutes, OMS)	23
Consommation quotidienne de fruits	38
Consommation quotidienne de légumes	35
Au moins 5 portions de fruits ou légumes par jour (OMS)	13
Aucun fruit ou légume	49
Consommation quotidienne de boissons industrielles sucrées	9

Efforts physiques dans le cadre de l'activité quotidienne principale	en %
Assis ou débout	47
Effort physique modéré	37
Effort physique important	10
Pas d'activité principal	5

Répartition du mode de transport des actifs	en %
Voiture	83
Transports en commun	8
Marche	5
Pas de transport	3
Deux roues	1

Note : Élaboration propre à partir de "Statistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane", ARS, 2019. "Premiers résultats de l'enquête santé européenne (EHIS) 2019". A. Leduc et al. 2021. Et "Diagnostic régional santé environnement", DEAL Martinique, 2021.

Nous soulignons quelques éléments importants : seulement 4% font un trajet à vélo, 35% du sport en semaine et près de 50% de la population ne consomment ni fruits ni légumes et leur activité principale s'exerce assis ou debout. Le chiffre le plus alarmant est celui de l'utilisation de la voiture comme principal mode de transport pour les martiniquais. Cela peut être dû à un système de transport en commun inefficace, au manque d'infrastructures adéquates à d'autres alternatives de mobilité et aux conditions météorologiques.

Niveau de pauvreté

Le niveau de vie médian de la population martiniquaise s'élève à 17 880 euros annuels. Il est inférieur de 17% au niveau de vie médian national, mais il est le plus élevé des DOM. La pauvreté est très présente en Martinique : le taux de pauvreté est de 29,8% en 2018, soit près de deux fois plus qu'au niveau national, mais moins que dans les autres départements d'outre-mer (Insee, 2022). La figure 32 montre que les communes de Fort-de-France, Le François et Sainte-Marie ont les taux les plus élevés, au contraire de Schoelcher étant la commune avec les taux de pauvreté le moins élevés.

Figure 32 :

Taux de pauvreté selon le territoire et l'âge du référent fiscal des ménages (2018).

	Ensemble	Âgés de moins de 30 ans	Âgé de 50 à 59 ans	Âgé de 60 à 74 ans	Âgé de 75 ans ou plus
MARTINIQUE (972)	**29,8%**	**49,7%**	**29,9%**	**23,4%**	**31,2%**
CACEM	**26,7%**	**45,6%**	**26,8%**	**20,4%**	**26,3%**
Fort-de-France	30,0%	52,0%	29,0%	23,0%	27,0%
Le Lamentin	25,0%	34,0%	26,0%	19,0%	27,0%
Schœlcher	19,0%	39,0%	20,0%	14,0%	18,0%
Saint-Joseph	27,0%	-	26,0%	20,0%	32,0%
CAESM	**29,1%**	**50,3%**	**29,1%**	**22,6%**	**31,7%**
Ducos	21,0%	-	23,0%	15,0%	27,0%
Le François	31,0%	-	31,0%	23,0%	33,0%
CAP Nord	**35,2%**	**57,3%**	**35,3%**	**28,6%**	**36,9%**
Le Robert	32,0%	55,0%	31,0%	26,0%	37,0%
Sainte-Marie	42,0%	-	43,0%	36,0%	45,0%

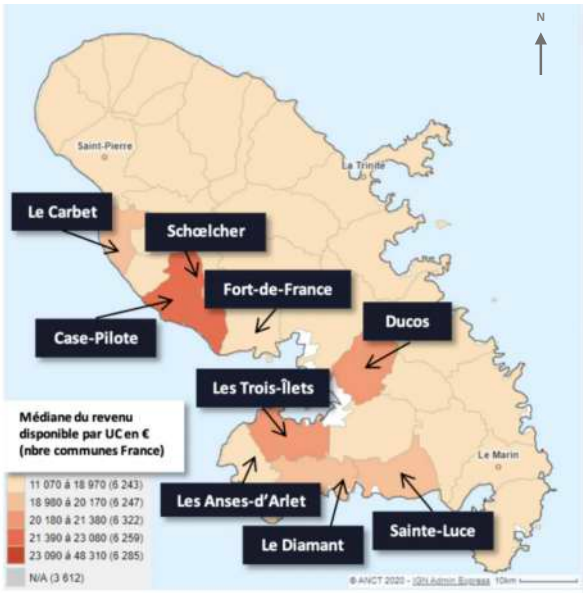
Note : Adapté à partir de "La Martinique face à une transition démographique sans précédent. Fatalité ou opportunité à agir collectivement ?". Alogia groupe, 2021.

Revenu

Un quintile est un ensemble de ménages regroupés en fonction de leur "niveau de vie", au sens du revenu disponible brut par unité de consommation (UC), (Insee, 2020). En Martinique, 27 des 34 communes ont une médiane du revenu disponible par UC inférieure ou égale à 18 970 euros situées dans le 1er quintile. Les communes Le Carbet, Le Diamant et Sainte-Luce appartiennent au 2eme quintile, Ducos et Les Trois-Îlets au 3eme quintile. Seulement les communes de Schœlcher et Case-Pilote appartiennent au 4ème quintile. La disparité sociale en Martinique se trouve bien marquée géographiquement (Voir figure 33 et 34).

Figure 33 :

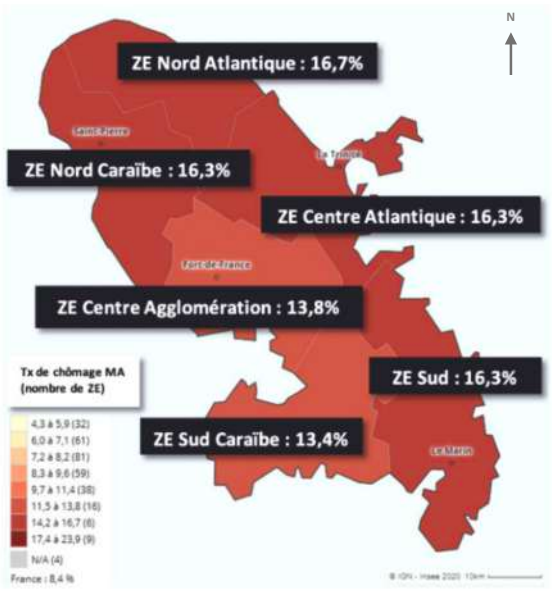
La médiane du revenu



Note : Carte reproduite de "La Martinique face à une transition démographique sans précédent. Fatalité ou opportunité à agir collectivement ?" Alogia groupe, 2021.

Figure 34 :

Le taux de chômage annualisé en Martinique (2019)



Note : Carte reproduite de "La Martinique face à une transition démographique sans précédent. Fatalité ou opportunité à agir collectivement ?" Alogia groupe, 2021.

Climat et température

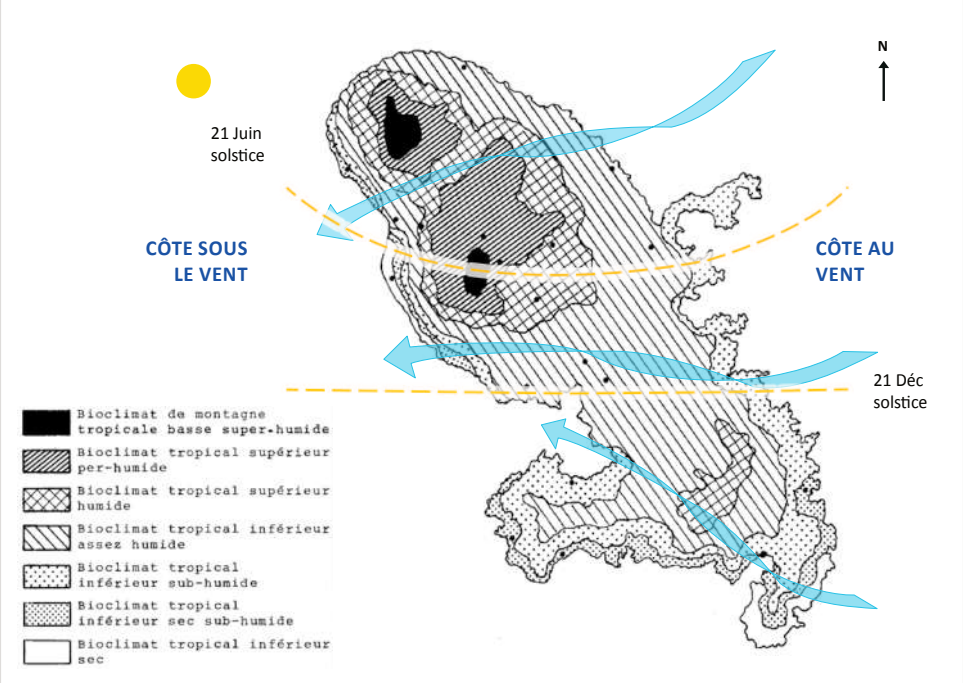
La Martinique, étant une île volcanique, est caractérisée par un relief très accidenté avec des massifs représentatifs. Au nord, la montagne Pelé culminant à 1397m d'altitude, le Morne Jacobs à 880m et le Piton du Carbet à 1200m définissent les paysages et les microclimats. Dans le centre de l'île se trouve la plaine du Lamentin et des reliefs de faibles altitudes. Au sud, le relief reprend de la vigueur avec la Montagne du Vauclin atteignant 504m d 'altitude et le Morne Caraïbe avec ses 359m de hauteur. (Portecop, 1979)

Cette configuration favorise les différents microclimats dû aux différents vents présents en Martinique. Partecop (1979) a identifié trois types de vents : l'alizé, les brises et les vents issus de systèmes dépressionnaires. Il a également identifié sept types de microclimats décrites dans la figure 35.

Le bioclimat tropical inférieur assez humide correspond à la majorité de la surface de la Martinique.

Figure 35 :

Carte bioclimatique de la Martinique.



Note : Carte adaptée à partir de "Phytogéographie, cartographie écologique et aménagement dans une île tropicale : Le cas de la Martinique" Portecop, J., 1979.

Le climat de la Martinique, par sa situation géographique, est de type tropical, caractérisé par des températures moyennes annuelles de 26,5°C et un gros volume de précipitations (1 950 mm). Les conditions climatiques en Martinique sont directement commandées par les positions respectives de l'anticyclone des Açores, qui dirige l'alizé d'Est à Nord-Est et de la Zone de Convergence InterTropicale (Z.C.I.T.) (Météo France, s.d). Nous pouvons distinguer deux saisons : une saison sèche, appelé le carême du mois de février au mois d 'avril et l'hivernage du juillet à octobre.

Selon les observations réalisées par Météo France en relation aux évolutions des températures en Martinique, une tendance à la hausse y apparait. Elles montrent particulièrement que sur la période 1965-2009, la température moyenne a augmentée de 1,47°C, soit près du double de la hausse moyenne constatée sur le globe durant la même période. (voir annexe 1).

De même, les scientifiques ont réalisé des projections climatiques pour l'horizon 2071-2100 basées sur le scénario RCP 4.5. (atténuation modéré de gaz à effet de serre, GES) ayant pour objectif de déterminer l 'impact du changement climatique. Les résultats montrent que les températures moyennes annuelles minimales et maximales attendues pour la fin du siècle, augmenteront sensiblement sur l'ensemble du territoire. Dans la figure 36 et 37, nous constatons que les températures moyennes annuelles maximales actuelles comprises entre 21° et 32°C vont passer entre 23° et 33°C en 2071. Les zones urbaines devront connaître des températures encore plus élevées dû au phénomène d'ICU.

Figure 36 :

Températures moyennes annuelles maximales (normales 1971-2000).

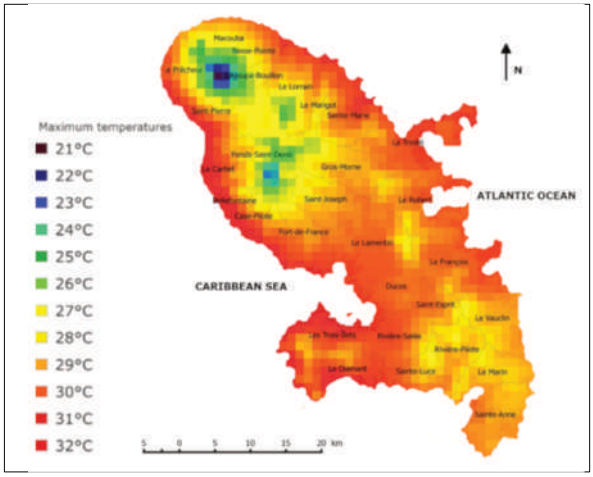
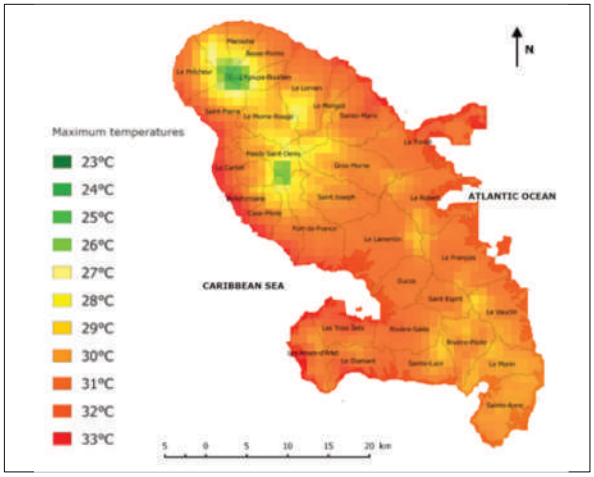


Figure 37 :

Températures moyennes annuelles maximales (scénario RCP 4.5, 2071-2100).

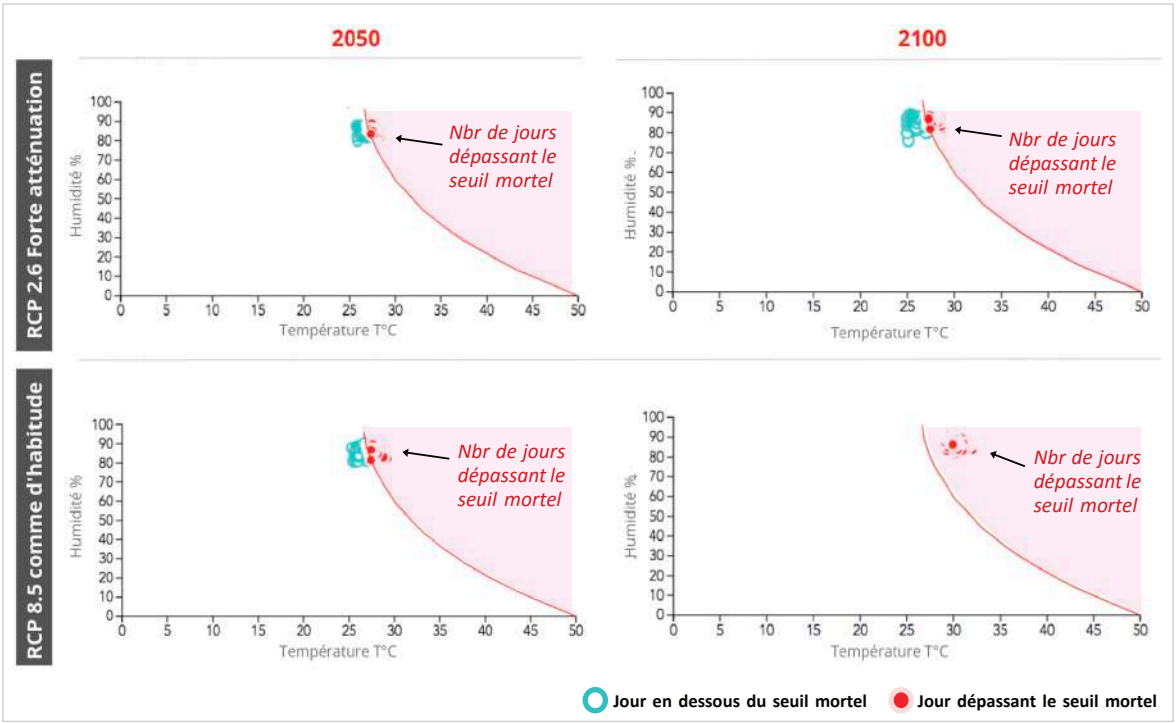


Note : Images adaptées à partir de "Milieux propices au Coffea canephora en Martinique" VertigO, Volume 17 numéro 3. Claude, J. P., 2017. https://doi.org/10.4000/vertigo.18923

La figure 38 nous montre une projection spécifique du nombre de jours au-dessus du seuil mortel à titre indicatif. Le scénario plus critique est le RCP 8.5 à l'horizon 2100. Selon la projection, la Martinique risque de devenir un territoire difficile à habiter, car le seuil mortel va être dépassé 365 jours par an.

Figure 38 :

Nombre de jours de chaleur mortelle à Martinique en 2050 et 2100 dans 2 scénarios d'atténuations de GES.



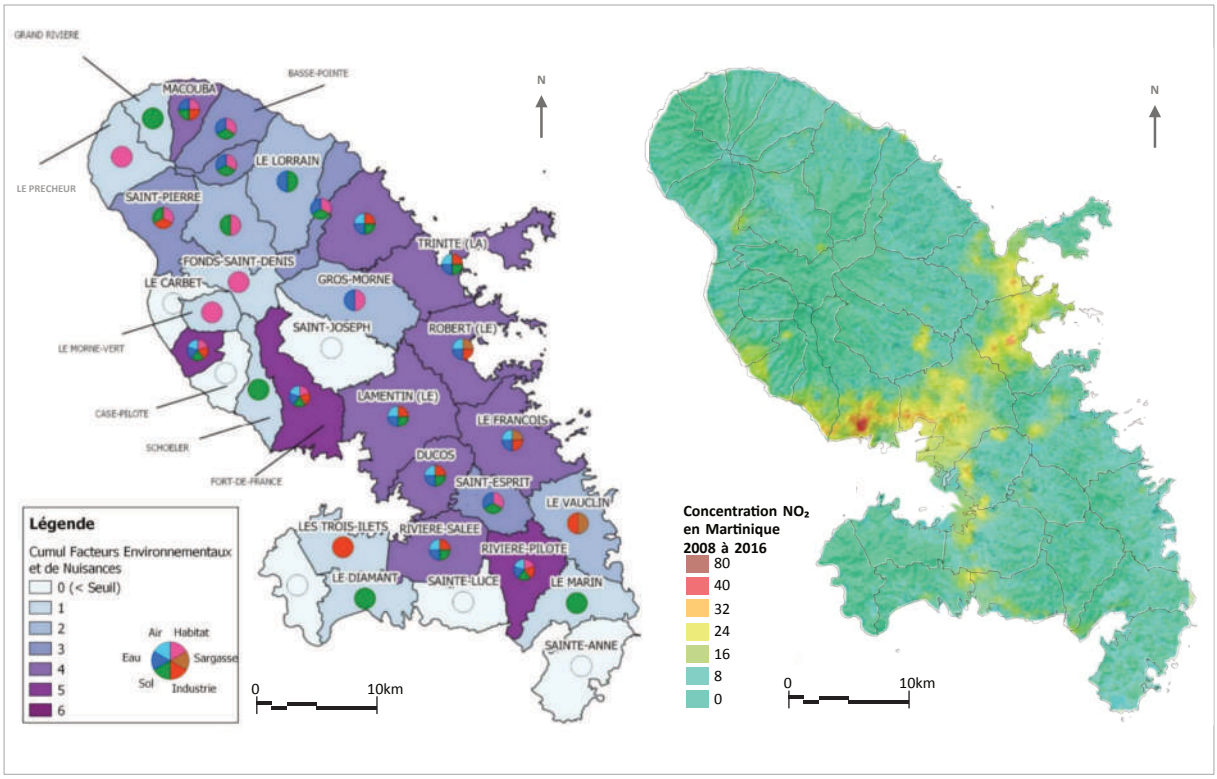
Note : Adaptés de "Billions to face 'deadly threshold' of heat extremes by 2100, finds study", Mcsweeney, 2017.

Pollution

La DEAL (direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement) (2021), dans son rapport régional santé environnement, a créé une cartographie à l'échelle des communes, représentant et résumant des zones de cumul de facteurs environnementaux. Ils ont ciblé 6 sources de pollutions principales : la pollution atmosphérique, la pollution des eaux, la pollution des sols, les algues sargasses, le tissu industriel et l'habitat vétuste. Les résultats montrent que les communes les plus affectées sont Fort-de-France, Rivière Pilote et Bellefontaine, cumulant le plus de nuisances. Cet impact est dû à leur densité de population, leur urbanisation, à la forte concentration d'activités dans ces zones et au transport. Selon l 'Insee (2016) "la voiture est le mode de déplacement de 90% des navetteurs. [...] Seul 8% des navetteurs utilisent les transports en commun." (Figure 39)

La concentration de NO_2 reflète la dynamique des flux domicile - travail entre le nord et le sud de l'île. Les actifs des communes situées au nord ont tendance à travailler dans leur commune de résidence, contrairement aux actifs des communes du centre et du sud qui travaillent principalement à Fort-de-France et au Lamentin. Ces deux communes attirent près de 60% des navetteurs en raison de la concentration des emplois intensifiant la pollution de l'air et la qualité de vie des habitants.

Figure 39 :
Cumul de pollution environnementale (à gauche) et pollution automobile NO_2 (à droite).



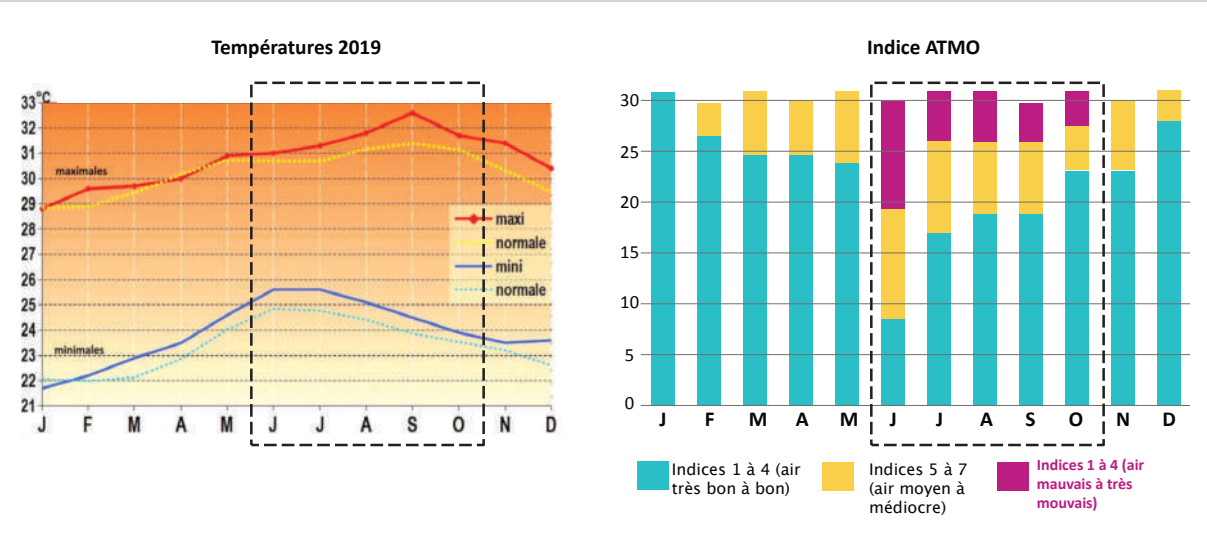
Note : Cartes adaptées à partir de "Diagnostic régional santé environnement" DEAL, 2021.

L'enquête "La qualité de l'air en Martinique et vous" réalisée par Madininair en 2017 confirme ce postulat avec 74% de la population qui considèrent ce phénomène comme "très préoccupant" et 62% qui estiment que la pollution atmosphérique a un impact très fort sur leur santé (allergies, asthme, irritations des yeux). Selon les martiniquais, les principales sources de pollution, sont les transports et la circulation automobile (44,7%), ainsi que les brumes de sable (42,4%).

D'autre part, Madininair calcule également les indicateurs journaliers de la qualité de l'air (ATMO) à partir de quatre polluants : le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3) et les particules en suspension (PM_{10}) en milieu urbain et péri-urbain. Si nous prenons les données de chaque mois de cet indicateur à Fort-de-France et que nous les croisons avec ses températures par mois, nous pouvons constater qu'il existe une corrélation entre les périodes de forte chaleur et les indices d'air mauvais à très mauvais. (Figure 40)

Figure 40 :

Températures mensuelles 2019 au Lamentin vs Indice ATMO mensuelles 2019.



Note : Adaptés à partir de "Bulletin climatique annuel. Martinique 2019, une des plus ensoleillées" Météo France, 2019. "Diagnostic régional santé environnement" DEAL, 2021.

Cette premier état de lieux nous permet conclure que la Martinique actuelle est un territoire très vulnérable face à la hausse des températures. Les scénarios de l'île à l'horizon 2050 sont préoccupantes. En premier lieu, du point de vue démographique, il est prédit que 50% de la population sera âgée de plus de 65 ans, tranche d'âge la plus sensible. À cela, nous ajoutons d'autres facteurs à risque comme : le grand pourcentage d'habitants qui ont déclaré des maladies chroniques, une moyenne de revenu modeste, un taux de pauvreté élevé, le manque d'infrastructures adaptées au climat, des habitudes de vie peu saines et une progression de l'obésité ; la Martinique se trouve dans un état où il est urgent d'agir.

Cependant cette en analysant les données, la commune de Schoelcher se distingue par des résultats socio-économiques remarquables et un faible taux de mortalité, ce qui a suscité notre intérêt pour les conditions de vie dans cette zone et réaliser notre travaille de terrain dans l'un de ses quartiers.

Dans une perspective d'amélioration, il est nécessaire de repenser la Martinique en adoptant une approche à la fois globale et locale, tout en intégrant la santé dans la planification territoriale.

CHAPITRE 5 : Diagnostic urbain face au risque de stress thermique en climat tropical

1. Présentation d'un outil d'aide à la décision basé sur les déterminants de la santé liés à la chaleur urbaine

Dans le cadre de notre étude sur le confort thermique en milieu tropical et l'impacte des facteurs sur la santé, nous avons opté pour l'utilisation d'une matrice multi-critère pour simplifier l'analyse. En adoptant une approche écosystémique et intégrée, nous avons élaboré un réseau de relations en nous concentrant sur les déterminants de la santé liés à la chaleur urbaine et le risque de stress thermique. Cette méthode nous permet de mieux comprendre les interactions complexes entre les facteurs biologiques, socio-économiques, environnementaux et la santé humaine dans les zones urbaines.

Nous nous sommes inspirés des grilles d'évaluation d'aménagements et de la vulnérabilité (Costa, F. 2022, Magnan, A. 2009, Mhedhbi, Z. 2016, Roué Le Gall, A. et al. 2013) pour concevoir notre outil. Celui-ci consiste à attribuer une valeur de 0 à 3 à un panel de variables qui reflète l'importance relative que nous avons accordé à chaque réponse possible au sein de notre grille de diagnostic. Cette échelle de notation varie de la réponse la moins favorable (0 point) à la réponse la plus favorable (3 points). Ce processus nous permet d'établir rapidement un diagnostic et d'identifier les points clés sur lesquels il est nécessaire d'intervenir.

Pour choisir les indicateurs correspondant à chaque groupe de déterminants de la santé et leurs valeurs, nous avons effectué une recherche de travaux et d'articles scientifiques spécialisés dans chaque domaine. Grâce à cette approche rigoureuse, nous avons pu élaborer une méthode pour évaluer le quartier en termes de résilience et performance face à la chaleur.

Ressources bibliographiques

DETERMINANTS BIOLOGIQUES	
Variables	**Sources**
Âge	(Santé Publique France, 2019)
État de santé	(Santé Publique France, 2019)
Ressenti thermique	(Boughriet, 2023)

DETERMINANTS SOCIO-ÉCONOMIQUES | STYLE DE VIE	
Variables	**Sources**
Alimentation	(Francis, 2021) (Grosdemouge, 2022) (Vivre en Ville, 2018)
Activité physique	(OMS, 2022)
Revenue	(Yin et al., 2023)
Mode de déplacement	(Büro für mobilität et al., 2023; Flint & Cummins, 2016; GREC-SUD, 2017)
Perception de la qualité de vie	(Jacobs, 1961)
Rapport affective à la ville	(Martouzet, 2013)
Perception de la santé	(Allonier et al., 2007)

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE	
Variables	**Sources**
Morphologie	(Fariña et al., 2013; Cardenas, 2012; Leal, 2013; Yahia et al., 2018)
Densité - Hauteurs	(Delugin et al., 2022)
Mixité d'usages - Équipements	(Vivre en Ville, 2013; ADEME et al., 2023; Moreno, 2023)
Proximité aux services de soins	(Cordeau, 2017)
Performance du transport en commun existant	(Vivre en Ville, 2018; Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 2021; David, 2022; Île-de-France Mobilités, s. d.; Millet, 2016)
Pistes cyclables	(Büro für mobilität et al., 2023; Cerema, 2021)
Trottoirs - espaces piétons	(Beaudoin et al., 2017; Büro für mobilität et al., 2023; Vivre en Ville, 2018; ADEME et al., 2023; Cerema, 2020)
Qualité de l'espace public	(Konijnendijk, 2021; Beaudoin et al., 2017; Denef, 2011; Manusset, 2012; Stagno, B., & Ugarte, J. 2006)
Indice de végétation	(Konijnendijk, 2021; Beaudoin et al., 2017; Romo Rojas, 2014; Science & Vie, 2019; (Nieuwenhuijsen et al., 2022)
Espace vert (EV) par habitant	(Konijnendijk, 2021; Beaudoin et al., 2017; Nieuwenhuijsen et al., 2022; Konijnendijk et al., 2022; IUCN, 2021; Saaronia, 2018; OMS, 2021; Leroy et al., 2021)
Imperméabilisation des sols	(Ferrand, 2017; Pommier et al., 2014)
Compacité	(Peneau, 1995; Vivre en Ville, 2013)
Protection d'ensoleillement	(Fariña et al., 2013; Beaudoin et al., 2017; Pascal et al., 2019; ADEME et al., 2023)
Confort thermique en extérieur	(Fariña et al., 2013; Grosdemouge, 2020; Pommier et al., 2014; Leal, 2013; Chavez & Fuentes Freixanet, 1985; Bustamante Oleart, 2015; Lacomba, 1991; Cerema et ADEME, 2021; Stagno, B., & Ugarte, J. 2006)
Indice de Chaleur (HI)	(Grosdemouge, 2020; Trotec, s. d.)
Indice WBGT	(Grosdemouge, 2020)
Indice UTCI	(Grosdemouge, 2020; Bröde et al., 2016)
Matériaux des sols	(Blancot, 2017, Pommier et al., 2014; Cerema et ADEME, 2021)
Matériaux de façades	(Haddak-Bayce, 2020; Science & Vie, 2018; Pommier et al., 2014)
Matériaux de toitures	(Science & Vie, 2018; Pommier et al., 2014)

Matrice de diagnostic de la performance urbaine face au risque de stress thermique

DETERMINANTS BIOLOGIQUES

Indicateurs de référence

Variable \ Valeur	0	1	2	3
Âge	Personnes âgés (65 ans ou plus)	Personnes d'âge mûr moyen (46 - 64 ans)	Personnes d'âge moyen (26 - 45 ans)	Personnes jeunes (15 - 25 ans)
État de santé	Avec plus d'une maladie chronique	Avec une maladie chronique	Avec une maladie NON chronique	Sans maladie chronique
Ressenti thermique	Inconfortable lié à la forte chaleur	Inconfortable lié à la chaleur	Confortable avec sensation de chaleur	Confortable sans sensation de chaleur ni froid

DETERMINANTS SOCIO-ÉCONOMIQUES | STYLE DE VIE

Indicateurs de référence

Variable \ Valeur	0	1	2	3
Alimentation	Aucun	1 à 2 portions par jour	3 à 4 portions par jour	5 ou plus portions par jour
Activité physique	Jamais	Moins de 2 fois par semaine	2 à 3 fois par semaine	Tous les jours
Revenue	Moins de 1000€ par mois	Entre 1000€ et 2500€ par mois	Entre 2500€ et 3000€ Par mois	Plus de 3000€ par mois
Mode de déplacement	Voiture	Transport en commun	Vélo	À pied
Perception de la qualité de vie	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Très bonne
Rapport affective à la ville	Aime pas	Indifférent / Pas attaché	Utilisateur	Amoureux
Perception de la santé	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE

Indicateurs de référence

Variable \ Valeur	0	1	2	3
Surfaces majoritairement exposés au rayonnement de soleil (sols, façades)	Exposés au soleil toute la journée	Exposés au soleil pendant une longue durée	Exposés au soleil pendant une moyenne durée	Exposés au soleil pendant une courte durée
Morphologie et orientation des rues en fonction le vents	Blocage des vents dominants - Absence des vents	Forte atténuation de vents dominants	Faible atténuation de vents dominants	Favorisant la direction des vents dominants
Densité - Hauteurs	- Grands ensemble d'habitats collectifs, densité forte - Habitats individuels isolés, densité faible	- Habitats individuels groupés ou en bande, densité faible	Habitats collectifs, densité moyenne	Mixte : Habitats collectifs et individuels groupés, densité moyenne

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE				
	Indicateurs de référence			
Variable / **Valeur**	**0**	**1**	**2**	3
Compacité	Rugosité très forte	Rugosité forte	Rugosité moyen	Rugosité faible
Mixité d'usages - Équipements	1 usage	2 usages	3 à 4 usages	Plus de 4 usages
Proximité aux services de soins	Plus de 5 km			Moins de 5 km
Performance du transport en commun existant (Capacité - Couverture territoriale - qualité - durabilité)	Mauvais	Moyen	Bon	Excellent
Performance des pistes cyclables (continuité - accessibilité - qualité - sécurité)	Mauvais Absence de pistes cyclables	Moyen	Bon	Excellent
Performance des trottoirs - espaces piétons (dimension 1,20m - qualité)	Absent	Discontinu	Continu et < 1,20m	Continu et ≥ 1,20m
Éléments d'ombrages des espaces public	Aucune structure d'ombrage	Espace public en grande partie non ombragé Quelques éléments dispersés	Espace public modérément ombragé Quelques éléments continus	Espace public bien ombragé 60% arbres ou 70% pergola avec lierre ou 85% pergola
Structures de rafraîchissement non naturels	Aucune	Bassins pour les pieds Miroir d'eau Fontaines -1°C	Tours évaporatives -2°C	Brumisateurs -3,5°C
Projets d'agriculture urbaine (AU)	Sans espaces réservés à promouvoir l'AU			Espaces réservés à promouvoir l'AU
Fontaine à au l'eau potable dans l'espace public	Non			Oui
Parcs intra-urbains (Opportunité d'interaction et de rencontres avec une taille minimale de 0,5 ha)*	Dans un rayon de plus de 2km Ou absent	Dans un rayon de 1 à 2km	Dans un rayon de 0,5 à 1km	Dans un rayon de 300 à 500m
Indice de végétation	0%	Couvert < 30%	30% < Couvert < 45%	Couvert > 45%

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE				
	Indicateurs de référence			
Variable / **Valeur**	**0**	**1**	**2**	3
Espace vert (EV) par habitant selon l'OMS	0m²	EV < 5m²	5m² < EV < 10m²	10m² ou plus
Imperméabilisation des sols	Très Fortement imperméabilisé 70 % - 100%	Fortement imperméabilisé 65% - 70%	Moyennement imperméabilisé 50% - 65%	Faiblement imperméabilisé < 50%
Indice de Chaleur (HI)	au-delà de 54°C : Danger extrême	40–53°C : Danger	30 - 39°C : Attention	Jusqu'à 29°C : Aucun trouble
Indice WBGT Activités physiques	Plus de 28° Risque extreme	23 à 28° Risque élevé	18 à 22° Risque modéré	Moins de 18° Risque faible
UTCI	> 52 Très chaud 44 - 52 Extrêmement chaud	36 - 44 Chaud	29 - 36 Légèrement chaud	21 - 29 Neutre
Matériaux des sols	Prédominance de béton, béton bitumineux, d'asphalte noir ou sable	Prédominance de stabilisé	Prédominance de granit Terre ou pierre	Prédominance des surfaces enherbée / Gazon / revêtement drainants
Matériaux de façades	Prédominance sombre, forte inertie thermique	Prédominance de bois, briques ou béton	Prédominance de peintures réfléchissantes ou thermochromiques	Prédominance de façades végétales
Matériaux de toitures	Prédominance de matériaux sombres à forte inertie thermique	Prédominance en béton	Prédominance de tôle ou peintures réflechissantes	Prédominance de toitures végétalisées et/ou panneaux solaires

2. Outils de collecte et représentation des données

Compte tenu de la diversité des critères de la matrice d'évaluation, nous avons choisi de les classifier en trois types de données, chacun ayant sa propre méthode de collecte de données :

- **Santé :** Cette section a été évaluée à travers des enquêtes par questionnaire et des recherches scientifiques spécialisées. Nous avons utilisé une formule de moyenne pondéré pour traiter les données statistiques. Cette formule nous permet d'obtenir une évaluation objective et précise de chaque réponse de nos questions de notre enquête.

  La formule est la suivante :

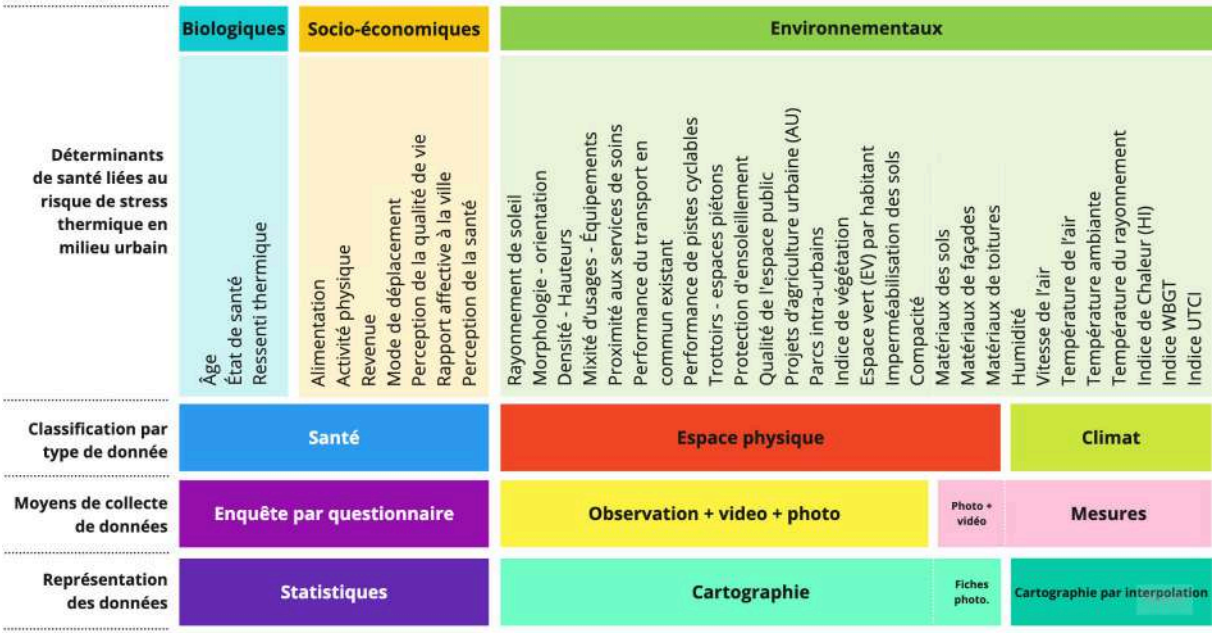
  ((0 x a%) + (1 x b%) + (2 x c%) + (3 + d%)) / 100 = Score (sur 3 points)

- **Espace physique :** L'observation directe, le relevé photographique et la collecte de données depuis des vidéos nous ont permis d'évaluer les caractéristiques environnementales de la zone d'étude. Nous avons élaboré un inventaire urbain et des fiches photographiques.
- **Climat :** Nous avons effectué des mesures climatiques sur site afin d'identifier et évaluer l'impact du microclimat urbain sur la santé humaine. Nous avons élaboré une série de cartographies par interpolation.

La figure 41 ci-dessous présente les déterminants de la santé, la classification par type de données ainsi que la méthode de collecte et de représentation des données pour chacun d'entre eux.

Figure 41 :

Classification des déterminants par type, moyens de collecte et représentation de données.



Note : Elaboration propre

CHAPITRE 6 : Application de la matrice d'évaluation : Étude de cas Anse Madame, Schoelcher

Situation géographique

Le choix de la zone d'étude s'est basé sur trois critères principaux. Le premier critère concerne l'accessibilité non seulement géographique, mais aussi en termes de dynamiques sociales. Étant donné que le quartier est à la fois touristique et sûr, il nous permet d'utiliser des outils de mesure climatique sans avoir à effectuer des démarches supplémentaires telles que l'obtention d'autorisations ou la notification préalable à la population, ou encore la nécessité de travailler avec une association. L'objectif était de disposer de la plus grande liberté possible pour mener à bien le travail de terrain.

Le deuxième critère est la proximité du lieu d'habitation, car l'expérience vécue joue un rôle important dans la perception de l'espace. Travailler dans un quartier proche de notre lieu de résidence nous permet également de minimiser les temps de déplacement et d'optimiser notre temps de travail.

Le troisième critère fait référence aux caractéristiques physiques d'un îlot de chaleur urbain, telles que la densité, la mobilité, la basse altitude, l'imperméabilisation du sol, etc. Nous avons choisi cette zone d'étude en raison de la présence de ces caractéristiques physiques, qui peuvent avoir un impact significatif sur les phénomènes climatiques locaux et les conditions de vie des habitants.

Figure 42 :
Localisation de la zone d'étude

Schoelcher — Anse Madame et ses environs — Anse Madame

Note : Elaboration propre

La commune de Schoelcher est située au centre de la Martinique, le long de la côte caraïbe. Elle s'étend sur 12km de long et 4km de large, avec un point culminant de 1200m aux Pitons du Carbet (PLU Schoelcher). La RN2, un axe structurant, traverse en grande partie la commune, assurant sa

connexion avec Fort-de-France et la région Nord Caraïbe. Selon l'INSEE, en 2014, la commune de Schoelcher comptait 19 945 habitants, ce qui en fait le troisième pôle démographique après Fort-de-France (83 651 habitants) et Le Lamentin (39 926 habitants).

Le quartier d'Anse Madame répond à l'ensemble des critères mentionnés, tels que l'accessibilité, les caractéristiques physiques de l'environnement urbain et la proximité géographique de notre lieu de résidence. Il est situé à l'Ouest de la commune de Schoelcher, dans une petite baie bordée à l'Est et au Nord par la RN2, et au Sud par la rivière Case Pilote. Cet emplacement offre aux habitants un accès direct à la mer des Caraïbes, ainsi qu'une proximité avec les principaux axes routiers de la commune.

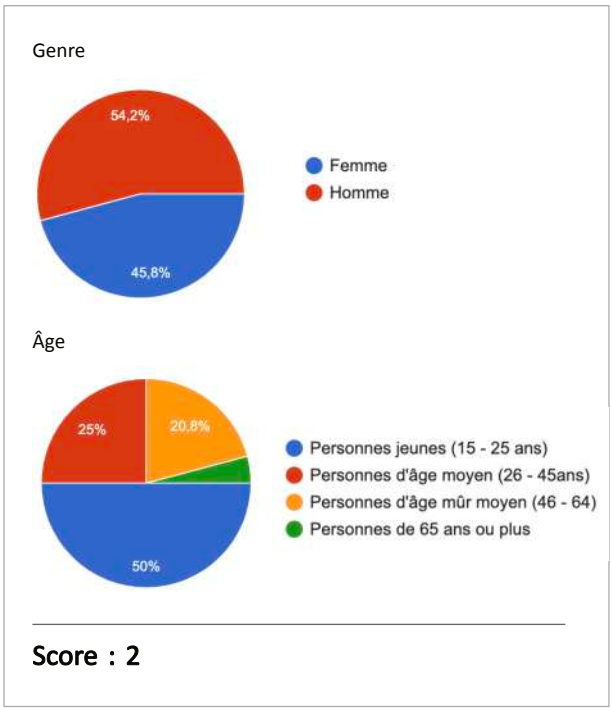
1. Déterminants biologiques

Grace à des enquêtes de terrain et l'utilisation de questionnaires numériques, nous avons recueilli les informations correspondants aux deux premiers groupes de déterminants (biologiques et socio-économiques). La majorité des enquêtes se sont déroulées durant les mois de février et mars sur 4 points spécifiques : le parking de l'avenue Anse Madame, l'abribus, la plage et l'esplanade des Arawaks. Les données ont été collectées entre midi et 14 heures, en plein soleil et par ciel dégagé.

Pour le présent étude, 24 personnes ont été interrogées, dont la moitié étaient des passants, 8 des résidents, 2 des touristes et 2 travaillaient dans le quartier. (Annexe 3) Le nombre d'enquêtes devra néanmoins être plus important ciblant les résidents du quartier et tout au long de l'année afin d'obtenir une moyenne plus précise au niveau de la sensation thermique et la perception de l'espace.

Âge et genre

Notre groupe de personnes interrogées étaient relativement équilibré entre les hommes et les femmes. En termes de répartition d'âge, les données suggèrent que la majorité des répondants étaient des jeunes adultes et des adultes d'âge moyen, ce qui signifie un niveau faible de vulnérabilité face au risque de stress thermique. Cependant nous avons pu constater qu'au moment de l'enquête, peu de personnes âgées était présente dans l'espace public, malgré une démographie Martiniquaise vieillissante.

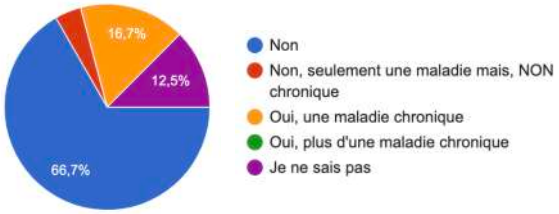


Formule de moyenne pondéré appliquée : **((0x4,2%)+(1x20,8%)+(2x25%)+(3+50%))/100=2**

État de santé

Les résultats ont montré que 66,7% ont répondu "Non", ce qui représente plus de la moitié des participants. Une seul personne a indiqué avoir une maladie, mais qui n'est pas chronique. En revanche, 4 d'entre eux ont déclaré avoir une maladie chronique, dont 3 souffrent d'obésité et 1 de diabète.

Avez-vous actuellement une ou plusieurs maladies chroniques?



Score : 2

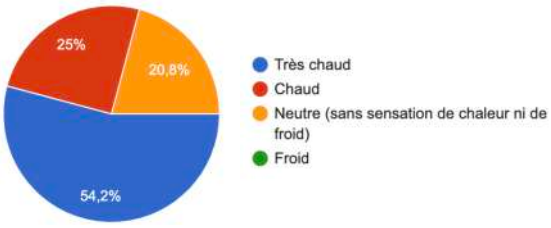
3 autres ont signalé ne pas savoir s'ils avaient une maladie chronique ou non. Ces résultats suggèrent que la majorité des personnes interrogées ne souffrent pas de maladies chroniques, un facteur de résilience face à la surchauffe urbaine. Ces résultats peuvent être utiles pour évaluer la santé globale des répondants, identifier les besoins en matière de soins de santé ainsi l'influence de l'environnement sur la même.

Ressenti thermique

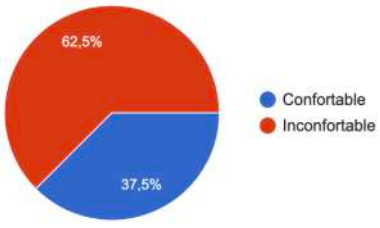
Deux questions concernaient la sensation thermique des répondants. En réponse à la première question, 79,2% ont déclaré avoir chaud ou très chaud. Seulement 20,8% ont déclaré avoir une sensation thermique dite "neutre".

100% des participants ayant considérés que la sensation thermique était inconfortable ont déclaré avoir chaud ou très chaud. Il convient de noter que la nébulosité peut momentanément modifier de manière significative la sensation thermique. Ces résultats peuvent être utiles pour comprendre l'impact de la chaleur sur la santé et le bien-être des habitants, et peuvent être utilisés pour orienter des décisions visant à améliorer le confort thermique dans le quartier.

Quelle est votre sensation thermique en ce moment?



En termes de confort, vous considérez que cette sensation est :



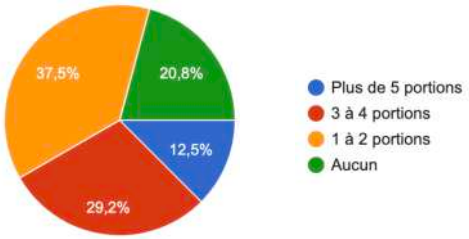
Score : 1

2. Déterminante socio-économiques | Style de vie

Alimentation

Depuis 2003, l'OMS préconise de consommer au moins 400 g de fruits et légumes quotidiennement. Les résultats ont montré que qu'une minorité (12,5%) respectait cette recommandation. En revanche, un nombre que nous considérons important (20,8%) n'en consomment aucun. 80% de cette part était résidant. De nombreuses questions émergent de ces résultats : relation avec le revenue et le nombre de personne dans le foyer, accessibilité aux fruits et légumes en terme de disponibilité, prix, espace de culture, etc.

Combien de fruits et légumes consommez-vous en moyenne par jour ?



Score : 1

Activité physique

La majorité des répondants (58,3%) ont indiqué qu'ils pratiquent une activité physique deux à trois fois par semaine, tandis que 16,7% d'entre eux pratiquent une activité physique tous les jours. A noter qu'ils considèrent les déplacements à pied comme une activité physique, ce qui expliquerait la fréquence élevé et qu'il existe une offre d'infrastructure accessibles à pied.

Quelle est votre fréquence d'activité physique hebdomadaire (marche, jogging, vélo, natation, etc.) ?

Score : 2

Revenue

En termes générales Schœlcher se distingue avec un profil moins modeste qu'à l'échelle martiniquaise et un rapport du nombre de chômeur moins élevé. (PLU)

D'après les résultats de l'enquête, le revenu moyen des ménages du quartier est relativement stable ; 37,5% des répondants déclarant un revenu compris entre 2500€ et

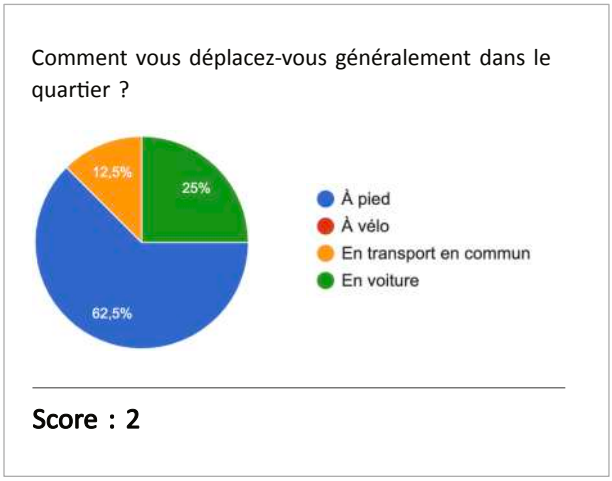
Quel est le revenu moyen du ménage ?

Score : 2

3000€ et 37,5% entre 1000€ et 2500€ par mois. Cependant, il est inquiétant de constater que 12,5% des ménages ont des revenus inférieurs à 1000€ par mois, et donc en dessous du seuil de pauvreté.

Mode de déplacement

En ce qui concerne les modes de déplacement, la marche dans le quartier est clairement privilégiée par la majorité des répondants (62,5%), suivie de loin par la voiture (25%), les transports en commun (12,5%) et le vélo (0%). Ces résultats suggèrent que les distances parcourues sont plutôt courtes, ce qui encourage les habitants à se déplacer à pied. Les aménagements piétons doivent être privilégiée et entretenu. Cependant, la faible utilisation des transports en commun pour accéder au quartier peut indiquer une offre insuffisante, inefficace ou peu attractive, tandis que l'absence de l'utilisation du vélo souligne le besoin d'infrastructures cyclables pour encourager les déplacements doux.



Perception de la qualité de vie

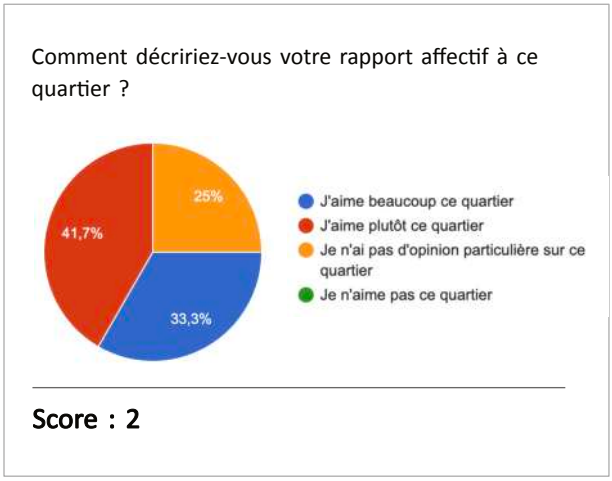
En termes de qualité de vie, la grande majorité des participants évaluent positivement la qualité de vie dans le quartier, avec 83,3% des personnes qui la considèrent comme bonne ou très bonne. Ces résultats suggèrent que le quartier est considéré comme agréable à vivre. Les réponses positives mentionnent principalement le calme, la sécurité, les aménagements, les parcs, les places pour les jeunes et l'ambiance agréable. Plusieurs répondants mentionnent la proximité de la mer comme étant un atout. Il convient également de noter que seulement 8,3% ont évalué la qualité de vie comme "très bonne", ce qui pourrait indiquer une marge d'amélioration potentielle dans certains aspects du quartier.

Il est à noter que les personnes ayant répondu que la qualité de vie était moyenne sont celles qui ont été interrogées sur les parkings proches de la RN2, où il n'y a pas de végétation, et qui ont déclaré avoir eu chaud ou très chaud. Ce résultats nous montrent que l'environnement immédiat et la sensation thermique peuvent influencer la perception de la qualité de vie.

Certains répondants ont mentionné également des points négatifs tels que le bruit liée à certains axes routiers, la chaleur et le manque d'ombre dans certains endroits. D'autres soulignent la difficulté d'accès aux transports en commun et souhaiteraient plus aménagements pour s'abriter du soleil et des espaces pour se détendre.

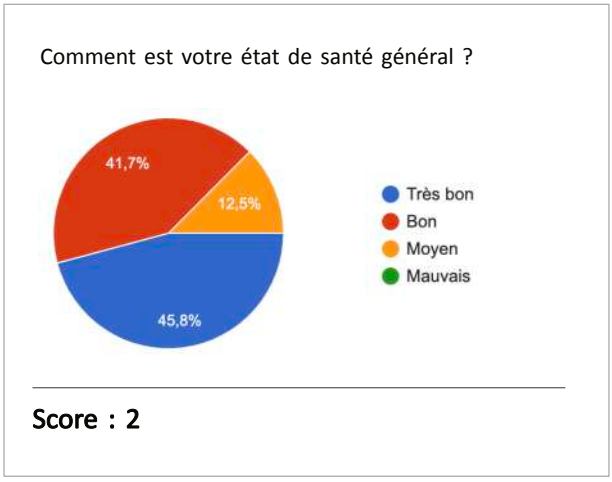
Rapport affectif à la ville

Les résultats de l'enquête montrent que la majorité des participants ont une opinion positive de leur quartier. En effet, 75% des personnes interrogées déclarent aimer ce quartier, soit en disant l'aimer beaucoup (33,3%) ou plutôt (41,7%). Seulement 25% des répondants n'ont pas d'opinion particulière, tandis que personne ne déclare ne pas aimer ce quartier. Cela peut être considéré comme un indicateur positif pour la ville et les décideurs locaux, montrant que les utilisateurs de l'espaces apprécient l'environnement. Cependant, il est important de noter que l'absence de réponse négative ne garantit pas l'absence de problèmes dans le quartier. Il est important de reconnaître que des problèmes peuvent être identifiés et traités en interrogeant plus en détail les résidents.



Perception de l'état de santé

Près de la moitié des personnes interrogées considère que leur état de santé est "Très bon", soit 45,8%, tandis que 41,7% ont répondu "Bon". Une proportion de 12,5% des participants ont indiqué que leur état de santé général était "Moyen". Ces derniers sont des personnes aillant actuellement au moins une malade chronique ce qui explique leur réponse. Cela pourrait être une indication de besoins de meilleurs conditions ou d'habitudes de vie. Aucun répondant n'a répondu "Mauvais". En conclusion, la majorité des répondants ont une perception positive de leur état de santé général, ce qui ne signifie pas que c'est réellement le cas.



3. Déterminants environnementaux | Cadre de vie

Inventaire urbain et analyse du microclimat

L'inventaire urbain est un outil essentiel pour appréhender avec précision un territoire. Grâce à la collecte d'informations consignées sur les cartographies, il permet de comprendre les diverses dynamiques qui se déploient dans l'espace et d'évaluer la qualité de l'urbanisme. La conception et l'organisation des bâtiments, des rues, des espaces publics et des zones vertes peuvent influencer la température, la ventilation et l'humidité d'une zone donnée, qui à leur tour peuvent affecter le confort thermique des habitants. Identifier donc, les facteurs qui altèrent le microclimat urbain, que ce soit de manière positive ou négative, nous aident à prendre les décisions d'adaptation les plus judicieuses pour améliorer le bien-être des citoyens.

Nous avons élaboré un inventaire qui prend en compte la forme urbaine, les usages des sols, les hauteurs des bâtiments, les espaces verts, les équipements disponibles, l'aménagement de l'espace public, la mobilité, rayonnement solaire et bien d'autres aspects.

Morphologie urbaine

La forme urbaine du quartier d'Anse Madame, se caractérise par des bâtiments ponctuels en retrait du bord de la rue. Cette forme dispersée peut permettre une meilleur circulation du vent et la dissipation de la chaleur. Cependant, la présence de clôtures linéaires, généralement sous forme de murs, crée une continuité des façades le long de la rue, rendant le quartier plus compact, limitant la ventilation naturelle et le confort.

Une partie de l'espace bâti n'est pas orientée dans la direction des vents dominants, mais il une légère brise est présente. En outre, les bâtiments les plus hauts sont situés en face de la RN2, créant une faible atténuation des vents pour les maisons situées à l'intérieur du quartier.

Score morphologie et orientation des rues en fonction des vents : 2

Figure 43 :

Carte de morphologie et direction de vents d'Anse Madame

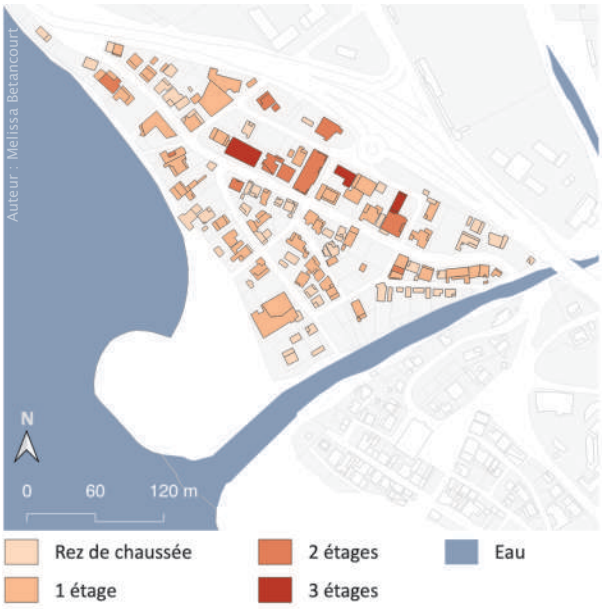
Note : Elaboration propre

Hauteurs et densité

Une configuration de bâtiments de hauteur plus basse permet généralement une meilleure ventilation et un meilleur échange d'air dans l'environnement urbain, ce qui peut contribuer à réduire la formation d'îlots de chaleur urbains (ICU). Dans le quartier en question, la hauteur des bâtiments varie du plain pied à trois étages. Les bâtiments les plus élevés sont situés à l'Est, près de l'accès de la RN2, ce qui peut ralentir la circulation des vents venant de la montagne et empêcher le rafraîchissement des autres maisons situées à l'intérieur du quartier. Cependant de manière général, le quartier se caractérise principalement par des habitats individuels regroupés d'une densité faible. Nous estimons que 200 à 250 personnes résident dans le quartier.

Score : 1

Figure 44 :
Carte de hauteurs d'Anse Madame

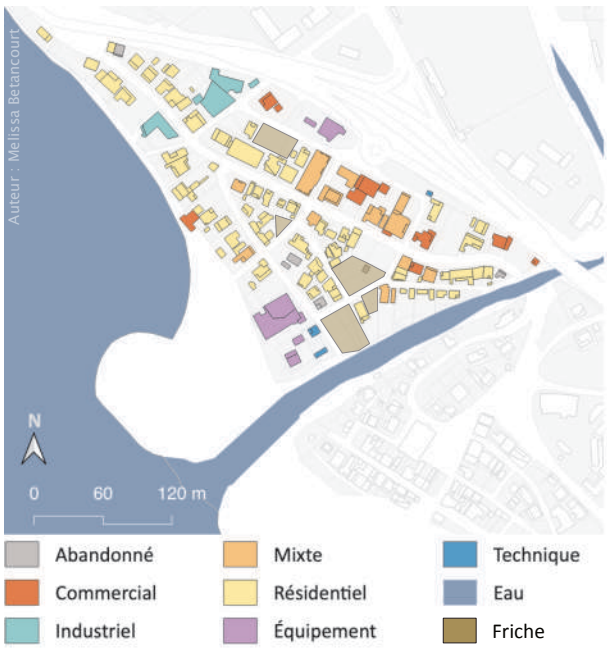


Note : Elaboration propre

Mixité d'usages

Le quartier l'Anse Madame présente la particularité d'être situe en zone basse de la montagne, avec des limites naturelles et bâtis très claires : l'Est et le Nord sont délimités par la RN2. Au sud, nous trouvons la rivière Case-Navire et à l'Ouest la mer caraïbe. Chaque interstice est caractérisé par des dynamiques uniques issues de cette relation. Le bord littoral lui confère un statut de pôle de nautisme et secteur de plaisance, quand à la proximité de la RN2, elle génère un bord d'usage commercial et tertiaire. L'avenue Anse Madame, ancienne route de connexion entre le Nord et le Sud, maintient dans son ensemble son caractère commerciale et mixte. Des installations sportives et éducatives se tiennent à moins d'un kilomètre et sont facilement accessibles

Figure 45 :
Carte d'usage de sols d'Anse Madame



Note : Élaboration propre

à pied. En ce qui concerne l'accès aux services de santé, le quartier dispose d'une pharmacie et les cliniques Sainte-Marie et Saint Paul se trouvent à moins de 5 kilomètres.

Score : 3

Mobilité

Selon le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune de Schoelcher 2014, "la voiture est le mode de transport privilégié par la majorité des habitants, avec une part de 86,3%, largement en tête devant les transports en commun qui représentent seulement 8,2% des déplacements. La marche ne représente que 2,3% et les deux-roues, y compris les vélos, seulement 1,6%. Le relief accidenté, le climat tropical et le manque d'aménagements appropriés sont autant de facteurs qui rendent moins attrayants l'utilisation du vélo ou de la marche comme moyens de transport". (PLU, 2014)

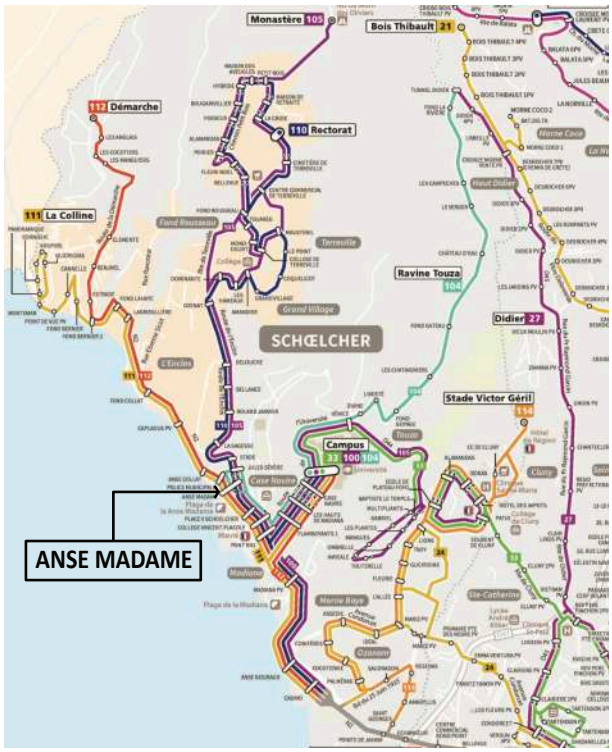
Le quartier d'Anse Madame dispose de 4 accès, dont 2 pour les véhicules et piétons et 2 exclusivement pour les piétons. La plupart des rues sont étroites et à sens unique en raison de leur largeur.

En ce qui concerne la performance du système de transport en commun, il est évalué en termes de : capacité (selon le nombre de passagers, infrastructures), fréquence, couverture, qualité (ponctualité, fiabilité, confort, sécurité) et durabilité. Le quartier compte avec 2 stations de bus avec des fréquences limitées à une demi-heure voire une heure, il est desservi vers différents point de relais obligeant à effectuer des changements ce qui implique de rallonger le temps de trajet pour ceux qui cherche à aller plus loin. Au niveau de la fiabilité et la ponctualité, ils se retrouvent impactés

Figure 46 :
Carte de mobilité d'Anse Madame

Note : Élaboration propre

Figure 47 :
Carte du réseaux de bus Anse madame



Note : Image adaptée à partir de Martinique mobilités https://www.martiniquemobilites.mq

par les grèves et les embouteillages. De plus les arrêts de bus ne sont pas équipés de signalétique (horaires, horaires en temps réel, nom de la station) et seulement un sur deux permet d'abriter les usagers des intempéries et du soleil, mais pas de manière optimale.

L'information précédent explique en grande partie pourquoi la plupart des gens font usage d'une voiture personnelle pour leurs déplacements quotidiens, d'autant plus que de nombreux d'habitants travaillent en dehors de la commune.

Score : 1

Il existe 3 parkings publics et 9 parkings privés pour les zones commerciales, souvent utilisés par les visiteurs de la plage et les résidents locaux. Aucun n'est accompagné de réelle végétation et sont tous imperméables. Les rues sont souvent encombrées par les véhicules garés sur les côtés de la route et viennent parfois encombrer largement les trottoirs, ce qui a un impact négatif sur la fluidité du trafic, le passage des piétons et des personnes invalides et la qualité visuelle des rues. En somme, les véhicules prennent une place importante dans le quartier intensifiant la sensation de chaleur.

En outre, l'absence de pistes cyclables ne favorise pas l'utilisation du vélo comme moyen de transport à l'intérieur, tout comme à l'extérieur du quartier.

Score : 0

Espace public

Dans notre étude de cas, nous avons identifié un problème évident en ce qui concerne la continuité des trottoirs. Dans de nombreux endroits, ces espaces conçus pour les piétons sont étroits voire inexistants, obligeant ainsi ces derniers à marcher sur la chaussée, ce qui peut être dangereux pour leur sécurité. Cette dynamique affecte également le confort des marchants à cause du manque de protections contre le soleil et de la chaleur émise par le bitume. Nous avons également identifié l'absence des voies piétons à l'intérieur du quartier.

Figure 48 :
Carte de l'espace public d'Anse Madame

Note : Élaboration propre

Le quartier dispose de quelques espaces de détente situées exclusivement à l'Ouest en bord de mer, tels que l'esplanade des Arawaks et la

plage. Ces derniers sont bien apprécié des habitants puisqu'ils favorisent les interactions sociales et les rencontres. Quelques réponses récurantes de l'enquête réalisée, mettent en avant certaines qualités comme le calme et la sensation de sécurité.

Score : 1

Cependant la végétalisation de ces espaces publics reste insuffisante pour réduire la température ambiante. Il n'existe que quelques structures d'ombrage éparses situées sur la place sous forme de kiosques. Dans les rues du quartier, aucun élément d'ombrage naturel ou artificiel n'est perceptible. Au niveau de confort, certaines personnes ont manifesté le manque d'ombre, ce qui augmente le risque de stress thermique dû à l'exposition prolongée au soleil.

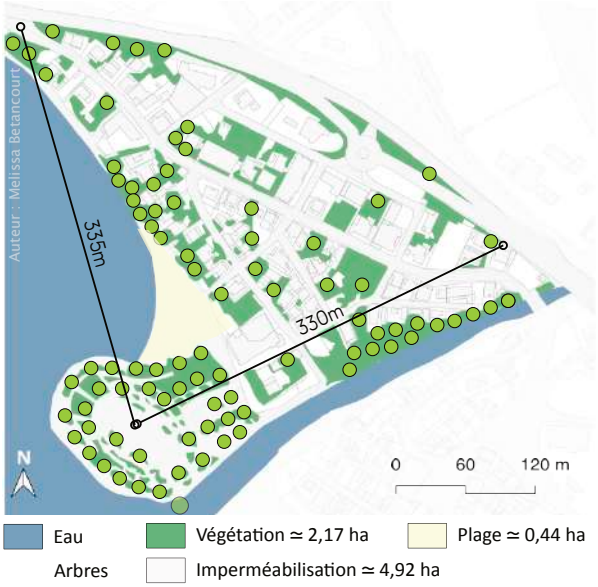
Score éléments d'ombrages des espaces public : 1

En ce qui concerne les structures de rafraîchissement, les projets d'agriculture urbaine (AU) et les fontaines à eau potable dans l'espace public, l'espace public en est totalement dépourvu.

Score des 3 critères : 0

Couverture végétale

Figure 49 :
Carte de l'espace végétalisé d'Anse Madame



Note : Élaboration propre

Les espaces verts sont considérés comme l'un des attributs les plus efficaces pour réduire les températures urbaines et la consommation d'énergie. Des études ont également montré l'impact qu'ils ont sur la santé mentale des personnes (Roué-Le Gall et al., 2020 ; Beaudoin et Levasseur, 2017 ; Porcherie, 2020 ; OMS, 2021 ; Leroy et al., 2021 ; Deboeuf De Los Rios et al., 2022 ; Nieuwenhuijsen et al., 2022). C'est pourquoi notre grille de diagnostic accorde une grande importance aux caractéristiques végétales de l'espace urbain. En principe, nous avons défini 4 critères de référence issus de la littérature sur le sujet : le couvert végétal, l'espace vert par habitant, la proximité et la taille des parcs intra-urbains et le taux d'imperméabilisation des sols (Nieuwenhuijsen et al., 2022 ; Konijnendijk et al., 2022 ; IUCN, 2021 ; Saaronia, 2018). A noter que ceux-ci sont liés à l'impact sur la santé et le confort thermique. Il est possible qu'un score soit élevé en termes d'efficacité sanitaire, mais qu'il ne soit pas forcément idéal en termes de confort.

Après avoir étudié notre cas, nous avons constaté que la majorité des espaces verts sont privés et

que les arbres sont principalement situés dans les parcelles résidentielles. Cela entraîne un manque de zones ombragées le long des trottoirs dans les espaces publics. Les seuls arbres présents dans ces zones se trouvent sur l'esplanade des Arawaks. Ce manque d'arbres dans les espaces publics accessibles à tous pourrait compromettre le confort thermique des piétons en limitant les zones ombragées et en les exposant davantage directement au soleil.

Anse Madame s'étend sur une surface totale de 7,53 ha. Sa couverture végétale privée et publique est d'environs 2,17 ha, ce qui correspond à un taux d'occupation de l'espace de 28,9% ; seulement 20,3% du total de cette espace vert est public et accessible. Quant au taux de imperméabilisation de sols, il est de 65,34%.

Score couverture végétale : 1

Score imperméabilisation : 1

Par ailleurs, l'OMS a évalué le nombre de mètres carrés nécessaires en fonction des différents besoins qui se manifestent aux différents âges de la vie d'une personne. Ils préconisent un minimum de 10m² d'espace vert public par habitant en zone centrale dans un espace à proximité d'environ 5 minutes à pied. Cependant, dans notre zone d'étude, nous avons estimé une population de 250 habitants en nous basant sur le nombre de maisons et leur hauteur, ce qui donne 17,73m² par habitant, un résultat supérieur à cette recommandation.

Score m² d'espace vert par habitant : 3

Dans d'autres études (Beaudoin et al., 2017 ; Sturm et Cohen, 2014 ; IUCN, 2021), il a été démontré que la distance entre les parcs urbains ou espaces verts et le domicile avait une influence sur la santé mentale. Plus précisément, lorsque ces espaces étaient situés à moins de 400m ou à 10 minutes de marche de la résidence, leur proximité était associée à moins de cas de dépression et de stress chronique. Afin d'évaluer le quartier d'Anse Madame, nous avons examiné la distance entre l'esplanade des Arawaks et les points les plus éloignés du quartier, ce qui nous a permis de constater une distance maximale de 335m. Ainsi, la majorité des habitants du quartier peuvent accéder à l'esplanade en moins de 5 minutes de marche.

Score parc intra-urbain : 3

L'ensoleillement des façades en fonction de la trajectoire du soleil

Le graphique présenté montre clairement que les façades orientées vers le Sud et l'Ouest, en particulier les bâtiments de grande hauteur sont exposés à un ensoleillement prolongé pendant neuf mois de l'année : d'août à avril. Les espaces ouverts comme la plage et les parkings sont également susceptibles à stocker la chaleur toute l'année. Il est donc crucial de protéger ces zones en priorité afin de minimiser les effets néfastes d'une exposition prolongée au soleil ou à l'augmentation de la chaleur

urbaine. Cette protection peut se faire à plusieurs niveaux : en intégrant des solutions architecturales adaptées, telles que des brise-soleils, et en favorisant la végétation dans l'espace public pour créer des zones d'ombre et de fraîcheur. (Voir figure 50).

Figure 50 :

Graphique de la trajectoire solaire au Quartier d'Anse Madame

Note : Élaboration propre

Score surfaces majoritairement exposés au rayonnement de soleil (sols, façades) : 1

Score éléments d'ombrage : 1

<u>Climatologie urbaine appliquée : paramètres météorologiques et ressenti thermique.</u>

La climatologie urbaine est un sujet complexe qui est généralement réservé aux experts, ce qui rend le langage technique difficile à comprendre pour la plupart des acteurs de l'aménagement urbain. Cette fracture entre les études scientifiques et la mise en place de projets d'adaptation peut s'expliquer par un manque de connaissances, une incompréhension de l'information technique et une crainte de l'inconnu qui freine l'idéalisation de solutions adaptées à la réalité climatique.

Dans cet exercice, notre objectif était de rendre cette discipline plus accessible en la présentant de manière compréhensible pour tout acteur de la ville. Nous avons adopté une méthodologie empirique qui a cherché à traduire les éléments climatiques en un langage plus généralisé, sans entrer dans les détails techniques trop complexes. La mise à disposition de ces informations est essentielle pour accélérer la transition écologique. Afin d'évaluer le confort thermique et les caractéristiques du microclimat urbain, nous avons décidé de créer une cartographie climatique grâce à la collecte d'informations sur place. Des mesures ont été effectuées à l'aide d'un ensemble d'outils mobiles et spécialisés. Une partie de ce matériel a été obtenu grâce à la collaboration de l'association KEBATI, une association qui est engagé dans la transition écologique en Martinique, qui nous l'a aimablement prêté. La figure 51 montre l'équipement utilisé avec sa description et l'unité de mesure correspondante.

Figura 51 :

Outils de mesures climatiques

Équipement		Fonction	Unité de mesure	Plus d'info
	Anémomètre multifonctions Marque testo [Kebati]	Mesure et enregistre tous les paramètres relatifs au climat ambiant en combinaison avec les sondes de haute qualité.	-	Lien
	Sonde d'humidité et de température Marque testo [Kebati]	Détermine l'humidité relative de l'air et la température ambiante.	%HR T°C	Lien
	Sonde de mesure du degré de turbulence Marque testo [Kebati]	Mesure la vitesse et la température de l'air.	m/s T°C	Lien
	Thermomètre à globe (TC de type K) Marque testo [Kebati]	Calcule et vérifie le paramètre de chaleur rayonnante conformément aux normes (Température de rayonnement ou de globe noir)	T°C	Lien
	Trépied pour la mesure du confort thermique Marque testo [Kebati]	Permet le positionnement conforme aux normes des sondes.	-	Lien
	Thermo-hygromètre Marque trotec	Indique la température ambiante, l'humidité relative, le point de rosée, l'indice de chaleur (HI) et l'indice WBGT (wet-bulb globe temperature).	T°C %HR HI WBGT	Lien
	• Thermomètre infrarouge / pyromètre Marque trotec • Application MultiMeasure Mobile • Smartphone/tablette	Mesure la température de surfaces de -30 °C à +250 °C. Smartphone ou tablette équipé du bluetooth pour lire et enregistrer les mesures grâce à l 'application.	T°C	Lien

Note : Élaboration propre

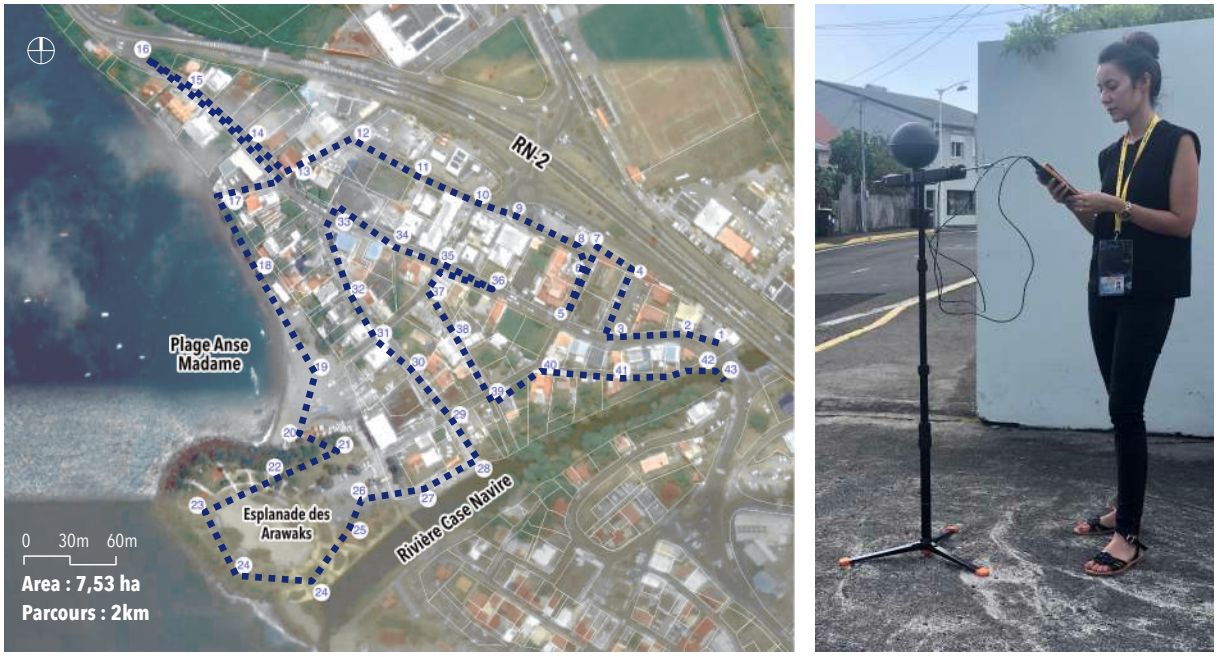
En amont du travail de terrain, il est nécessaire d'avoir un plan clair afin d'éviter les pertes de temps sur place, car la difficulté pour recréer une carte climatique est la variation de la météo selon l'heure de la journée. L'idéal est d'avoir un groupe de travail équipé des mêmes outils pour capturer les mesures de manière simultanée. Cette opération devrait être réalisée tout au long de l'année afin de générer une cartographie plus précise.

Dans notre cas, avec nos ressources limitées, il a été décidé de travailler dans un espace relativement restreint d'environ 7 hectares avec un groupe de travail composé de 2 personnes. Afin d'obtenir des données en conditions extrêmes, les mesures ont été prises par temps clair et sans nuage entre 11h30 et 13h30 : les heures d'exposition maximale au soleil. L'exercice a été réalisé le samedi 19 février 2023 et répété le dimanche 20 février 2023.

Pour notre exercice, nous avons commencé par définir l'itinéraire via l'application Google My Maps ainsi que l'emplacement des points de prise de mesures. Cette même application nous permet de créer un tableau de données pour faciliter la transcription des mesures sous forme numérique, puis de les exporter vers un système d'information géographique (QGIS). Il est conseillé d'écrire toutes les données décimales collectées avec des points et non des virgules, afin d'éviter des problèmes de transcription lors de l'exportation. Pour couvrir la surface totale (7,53 ha), 43 points ont été nécessaires, séparés à une distance d'environ 100m entre eux (voir figure 52). La marche de 2 kilomètres et les arrêts à chaque point de 2 à 3 minutes pour effectuer les prises de mesures, a duré environ 2 heures.

Figure 52 :

Itinéraire pour la prise de mesures climatiques à Anse Madame et outils de mesures.



Note : Élaboration propre

Les mesures recueillies étaient les suivantes :

- Température de l'air : est la mesure de la chaleur ou du froid de l'air à un endroit donné, généralement à une certaine hauteur au-dessus du sol, généralement exprimée en degrés Celsius (°C) (Glossaire de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) https://www.wmo.int/fr/glossary) ;

- Température ambiante : Elle fait référence est la température mesurée de l'air environnant à un endroit donné. Elle peut être influencée par divers facteurs tels que la température de l'air ou du sol, la présence de sources de chaleur ou de froid, et d'autres conditions météorologiques locales. (Dictionnaire Larousse https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais) ;

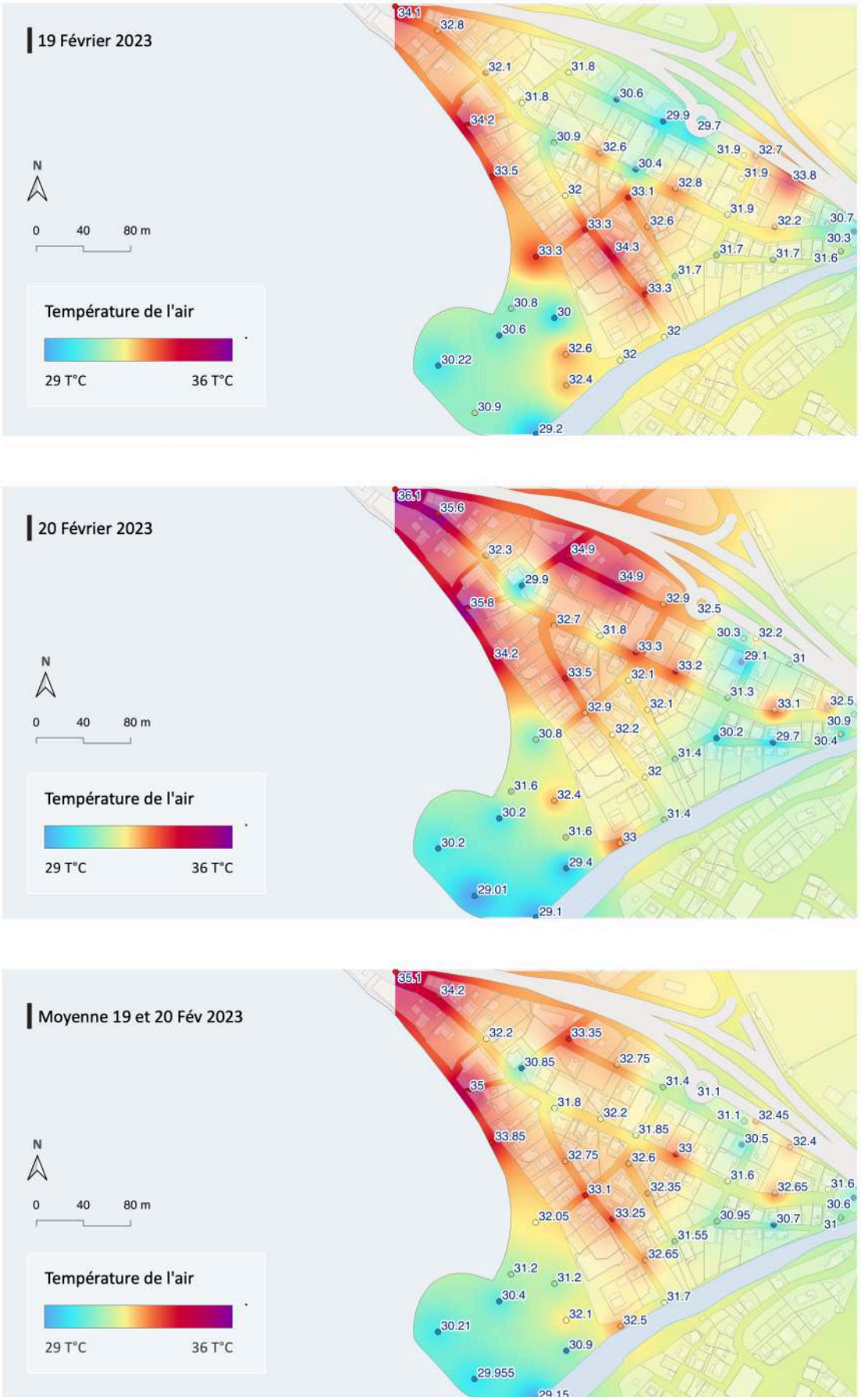
- Température de rayonnement ou globe noir : chaleur radiante émise par les objets chauds environnants.elle également connue sous le nom de globe noir. (Glossaire de l'Organisation internationale du travail (OIT) https://www.ilo.org/global/lang--fr/index.htm) ;

- Vitesse du vent : est la mesure de la vitesse à laquelle l'air se déplace dans l'atmosphère. Elle est généralement exprimée en unités de distance par unité de temps, telles que les mètres par seconde (m/s). (Glossaire de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) https://www.wmo.int/fr/glossary) ;

- Humidité relative : est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la quantité maximale d'eau que l'air peut contenir à une température et une pression spécifiques, exprimée en pourcentage. Elle indique la capacité de l'air à retenir l'humidité. Une humidité relative de 100 % signifie que l'air est complètement saturé et ne peut pas contenir plus d'humidité, tandis qu'une humidité relative de 50% signifie que l'air contient la moitié de l'humidité qu'il pourrait contenir à saturation. (Glossaire de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) https://www.wmo.int) ;

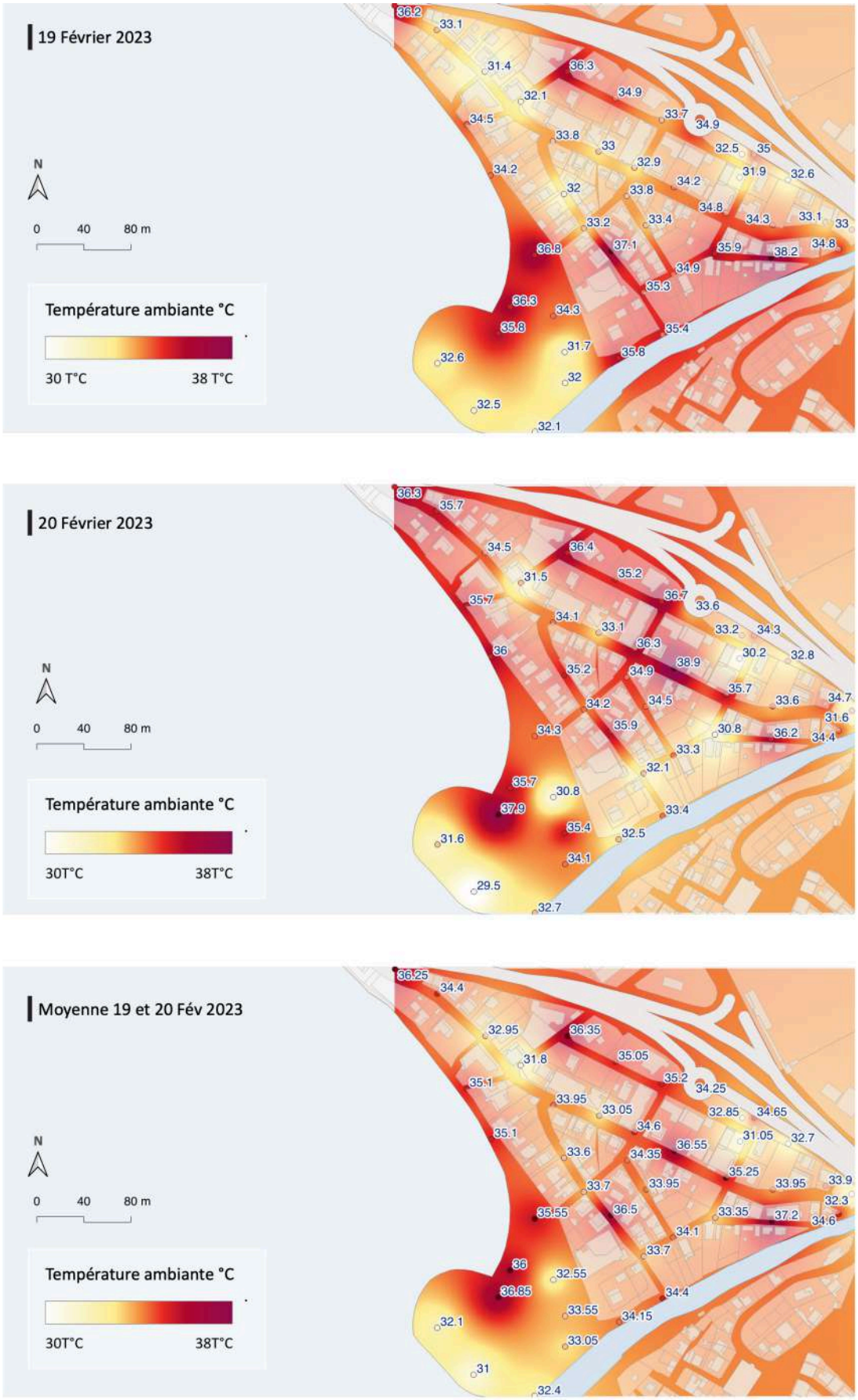
Par la suite, le traitement des données a été effectué dans QGIS, en important les tableaux au format csv. Pour obtenir les moyennes du week-end par mesure (7 types différents) et par lieux (43 points), nous avons calculé les données du premier jour avec celles du second pour obtenir le résultat recherché dans une 3^{e} feuille Excel. (Annexes 4). Ensuite, nous avons procédé à l'interpolation à intervalle égal pour chaque type de données, avec l'outil proposé par le logiciel QGIS. De cette manière, trois cartes ont été générées par type de mesure : les deux premières pour comparer les variations entre la journée du 19 février et celle du 20 février, et la dernière représentant la moyenne du week-end (voir figures).

Figure 53 :
Cartes de températures de l'air - Anse Madame



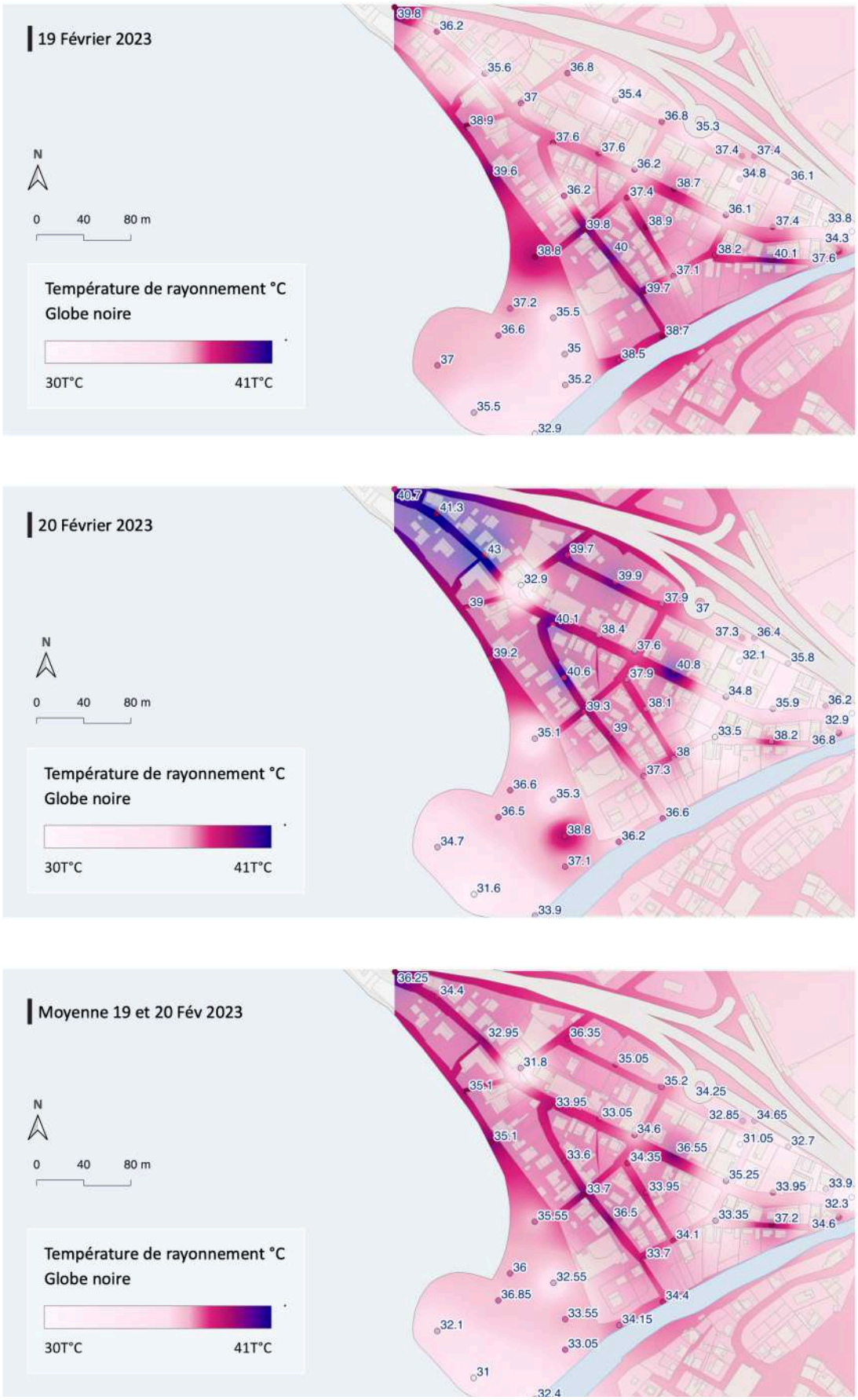
Note : Elaboration propre

Figure 54 :
Cartes de températures ambiants - Anse Madame



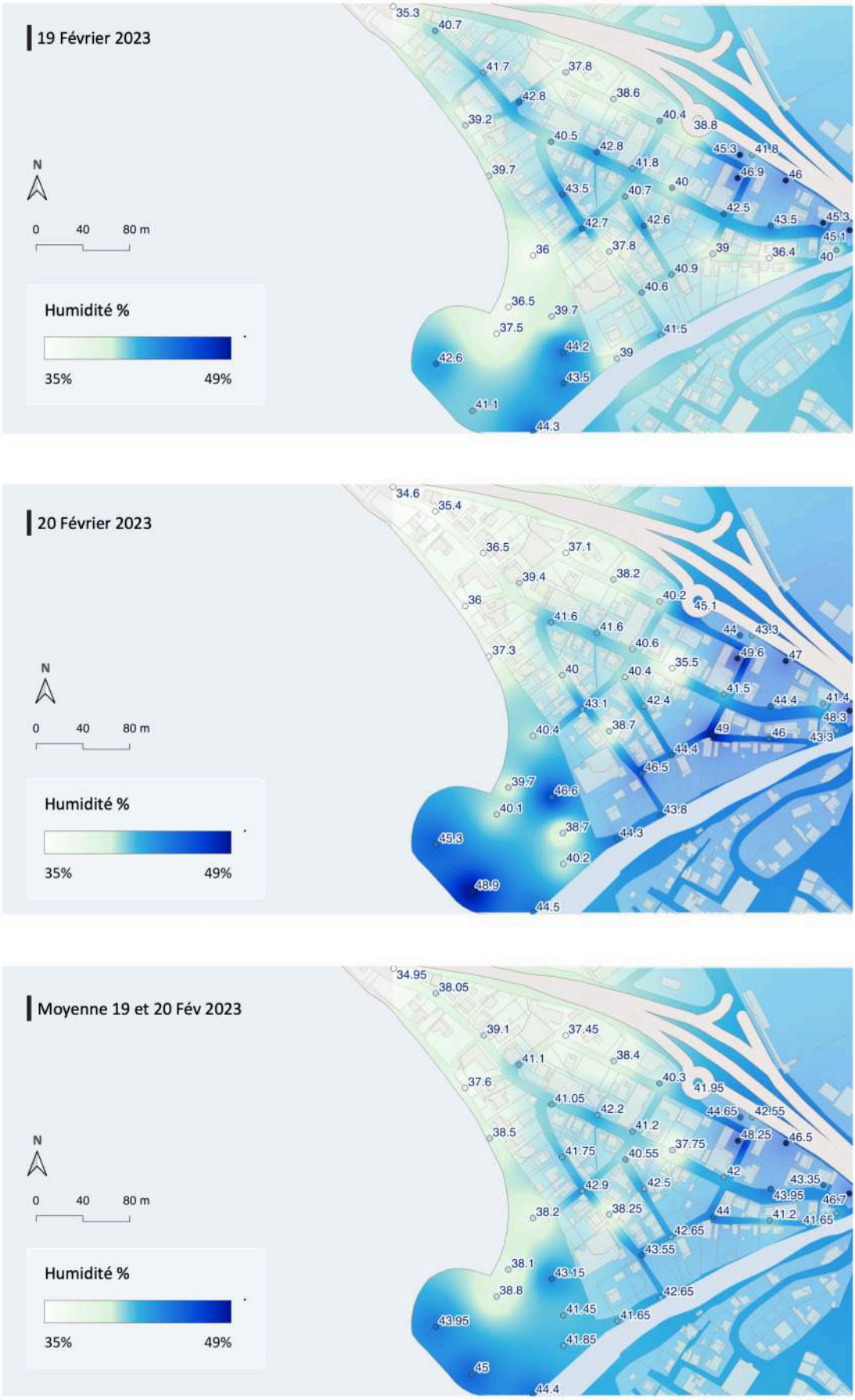
Note : Elaboration propre

Figure 55 :
Cartes de températures de rayonnement - Anse Madame



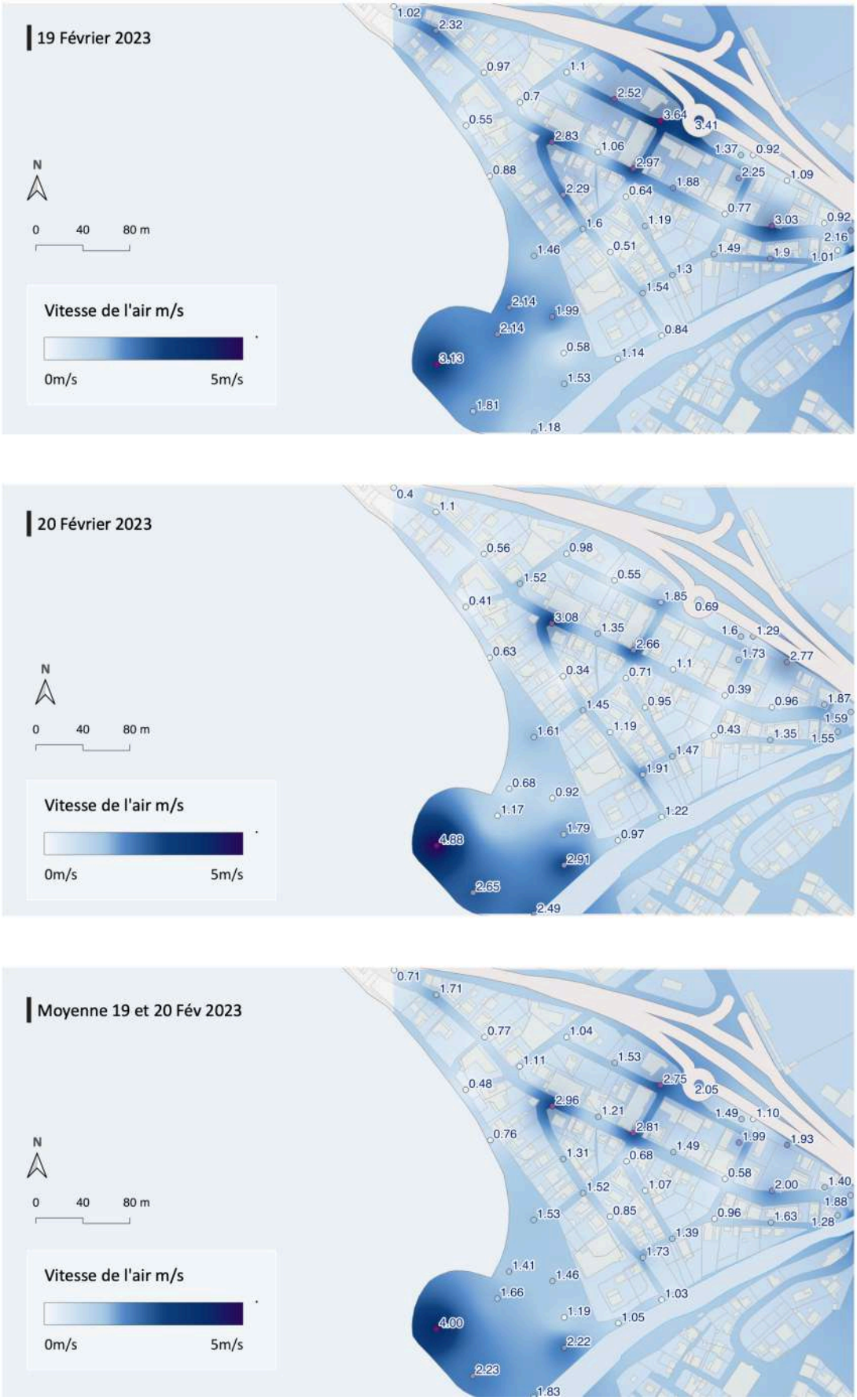
Note : Elaboration propre

Figure 56 :
Cartes d'humidité - Anse Madame



Note : Elaboration propre

Figure 57 :
Cartes de vitesse de l'air - Anse Madame



Note : Elaboration propre

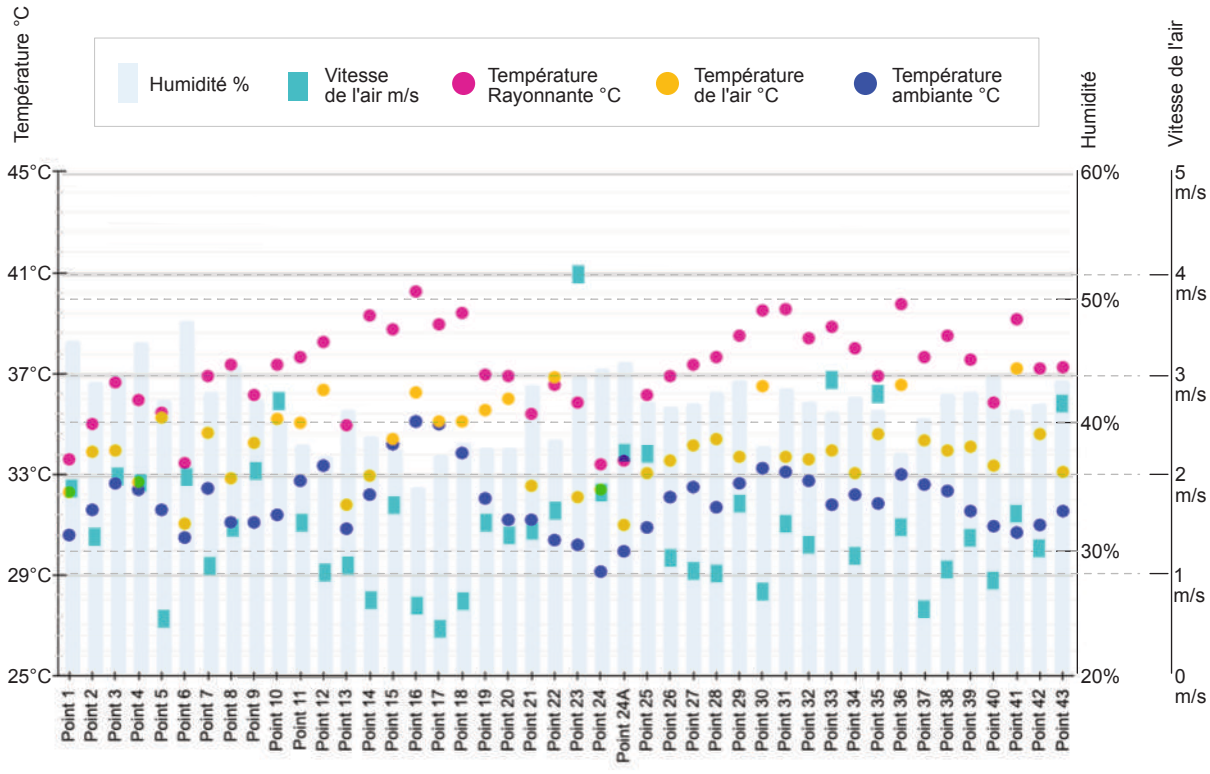
Figure 58 :
Cartes de l'indice de chaleur (HI) - Anse Madame

Note : Elaboration propre

Nous avons élaboré un graphique de synthèse pour croiser tous les moyennes des données collectées. (Voir figure 59)

Figure 59 :

Synthèse des moyennes des données collectées à Anse Madame.



Note : Élaboration propre

On constate que la température de l'air (Voir figure 53) est plus élevée dans la partie Nord du quartier, sur le front de mer et en bordure de la RN2. Bien que le front de mer du côté Nord-Ouest puisse être influencé par des brises de mer, la température de l'air dépasse les 33°C, soit une différence d'environ 3 à 4°C par rapport au front de mer côté Sud-Est. Cet effet peut être lié à l'absence de végétation et à la proximité de la plage générant de la chaleur par son sable. Les zones où les températures de l'air sont les plus fraîches sont situées principalement dans le Sud du quartier, proche de la rivière Case Navire et sur le front de mer, où se trouve l'esplanade des Arawaks. Ceci est dû en parti à une vitesse de l'air plus élevée et au processus de refroidissement adiabatique des sources d'eau (Fariña et al., 2013).

Nous constatons d'ailleurs qu'aux points où l'air est plus chaud, leurs vitesse est plus faible. Ces zones correspondent également à celles où la couverture végétale et la présence d'arbres sont les moins importantes, ce qui explique qu'en l'absence de végétation et d'éléments d'ombrage que la température de l'air augmente.

En ce qui concerne la carte de température ambiante (Voir figure 54), les résultats montrent des variations entre 29,5°C et 38,2°C. On observe que les mesures enregistrées proche de la rivière Case Navire, ne sont pas toujours les plus basses, comme dans le cas de la carte de température de l'air. En outre, dans certaines zones de l'esplanade des Arawaks, des températures ambiantes élevées ont été relevées, généralement là où il n'y a pas d'ombre ou de présence d'arbres. Cela suggère que la température ambiante est plus sensible à la présence d'arbres et à la chaleur émise par les matériaux environnants. Nous pouvons en déduire qu'il existe une relation entre la température de rayonnement et la température ambiante, puisque dans les zones où la température de rayonnement est la plus élevée, la température ambiante l'est dans la majorité des points. De plus, la zone la plus chaude en termes de rayonnement (Voir figure 55), se situe au Nord du quartier qui a une légère pente, cela contribue à réchauffer l'air à cause de son exposition plus élevée au soleil.

L'analyse précédente permet également de conclure que, malgré la fraicheur de la température de l'air, elle a peu d'influence sur la température ambiante, mais cela ne veut pas dire qu'elle n'a pas d'impact sur la sensation thermique.

Quant à l'humidité relative (Voir figure 56), elle est plus élevée à proximité de la rivière et de l'esplanade, ce qui est étroitement lié au phénomène d'évapotranspiration que génère la végétation et l'eau (évaporation de l'eau et transpiration des plantes). La loi de la saturation de l'air en vapeur en fonction de la température affecte également le potentiel d'humidité de l'air, car lorsqu'il fait chaud, l'évaporation est plus rapide et plus importante (Beltrando, 2004). Nous pouvons déduire que la présence de la rivière influence la température de l'air de manière positive traduit par un sentiment de confort. Néanmoins elle n'a pas beaucoup d'impact sur la température ambiante. Il convient de noter que les mesures ont été effectuées pendant la saison sèche, lorsque l'humidité ne dépasse pas 45%, mais pendant la saison d'hivernage compris du juillet à octobre le taux l'humidité peut dépasser les 80%.

De même, la carte de la vitesse de l'air (Voir figure 57) indique qu'il existe une corrélation avec la température de l'air. Les zones où l'air se déplace plus lentement peuvent se réchauffer en raison des effets du rayonnement de l'espace bâti. Nous pouvons noter que la vitesse du vent est plus forte dans les zones ouvertes que dans les zones fermées. Par ailleurs, à l'intérieur du quartier, nous pouvons identifier que les points où il existe une accélération sont situés à proximité des bâtiments les plus hauts, cela est produit par l'effet rebond (Fariña et al., 2013) que se traduit par un tourbillon parfois inconfortable. L'accélération au niveau du round point s'explique par l'influence du pont, qui crée un effet venturi avec les vents de montagne. Par rapport à la température ambiante, les données de vitesse de vents n'ont pas montré de relations directes.

Compte tenu des études relatives à la température humide (100 % d'humidité) et à son seuil de mortalité, le confort doit être assuré à l'aide de vents qui contribuent à assécher l'air et à procurer

une sensation de confort. Le simple mouvement d'air lors de la ventilation réduit la sensation d'humidité dans l'environnement (Fariña et al., 2013). En leur absence, la sensation de chaleur est oppressant voir étouffant. En effet, plus l'air est humide, moins le mécanisme de transpiration est efficace pour rafraîchir le corps. Toutefois, une attention particulière doit être accordée aux zones exposées aux ouragans et des alternatives doivent être prévues pour maintenir une ventilation naturelle constante tout en créant une barrière contre les vents violents. Ceci peut être réalisé par une bonne disposition de la végétation.

Les indicateurs de confort thermique sont le résultat de la combinaison de plusieurs variables météorologiques collectés in situ. Ils permettent d'évaluer le niveau de confort des usagers dans un espace donné. Pour notre étude, nous avons décidé d'utiliser trois indicateurs afin de les comparer. Parmi eux, nous avons l'indice de chaleur et l'indice WBGT qui évaluent le risque de stress thermique, en particulier lors d'efforts physiques ou d'activités sportives. D'autre part, il existe également l'indice UTCI, plus universel, qui évalue le niveau de confort dans l'espace extérieur. Ces trois indices ont des échelles de confort standard à qui nous leur avons attribué un score respectif dans notre grille de diagnostic multi-critères. Cependant, pour l'UTCI, nous avons décidé d'utiliser l'échelle calibrée de Virginie Grosdemouge (2021) qui propose une estimation plus adaptée aux ressentis des usagers en climat tropical. L'explication détaillée se trouve au chapitre 3 de notre recherche.

Le premier indicateur de confort a été obtenu grâce au thermo-hygromètre ; un outil calculant l'indice de chaleur (HI) de manière automatique et quasi instantanée directement sur le terrain. Les valeurs enregistrées indiquent un indice compris entre 30 et 41 (HI) en fonction de la zone. (Voir figure 58)

Nous constatons que les mesures sont généralement homogènes. Nous pouvons identifier que les données les moins favorables en termes de confort sont concentrées dans des zones présentant des caractéristiques spécifiques, telles que la proximité de la RN2, les bâtiments plus hauts, les parkings non végétalisés et la plage. Ces zones sont influencées par l'effet de l'exposition prolongée au soleil et la capacité d'absorption des matériaux de sol et de façade. En revanche, les espaces ayant le moins d'impact se situent sur l'esplanade des Arawaks. Cet espace se caractérise par des températures ambiante et de l'air basses, de vitesses de vents importantes, une bonne couverture végétale et une présence d'arbres qui protègent les surfaces du soleil, offrant ainsi une sensation de fraîcheur et donc des conditions plus favorables à la santé.

Afin de déterminer une classification dans la grille de diagnostic, une moyenne de tous les indices de chaleur a été réalisée. Le résultat obtenu est de 34,7 (HI) (Annexe 4. Tableau moyennes). Cette valeur place Anse Madame dans un stresse thermique bas, avec la possibilité de troubles légers.

Score : 2

En ce qui concerne l'indice WBGT, les résultats montrent une fourchette comprise entre 24 et 29. De même, cet indice a été collecté à l'aide du même instrument de mesure que l'indice de chaleur et a fait l'objet d'une moyenne pour déterminer sa position dans la grille (Voir annexe 4). Le résultat obtenu est de 26,0, ce qui, selon l'échelle, place le quartier dans une situation de risque élevé pour les activités physiques ou sportives.

Score : 1

Atteindre l'indice universel de confort thermique (UTCI) implique une série d'étapes et d'équations complexes. Tout d'abord, il est nécessaire de collecter des données météorologiques telles que la température de l'air (en °C), la vitesse du vent (en m/s), l'humidité relative (en %) et la température de rayonnement (en °C). Ensuite, ces données sont utilisées pour exécuter d'autres équations qui prennent en compte la pression de vapeur saturante et l'indice d'onde de rayonnement.

Pour notre étude, il a été décidé d'utiliser un calculateur UTCI disponible sur internet qui effectue le calcul automatiquement lorsque les données correspondantes sont saisies. (https://citizenscienceproject.org.au/resources-for-citizens/thermal-comfort-tool/ - Fichier Excel : https://www.dropbox.com/s/q5e2jcyubop5ojf/UTCI-Tool_ver2.xlsm?dl=0).

Pour déterminer l'indice UTCI moyen pour le quartier, nous avons pris les moyennes des paramètres météorologiques et les avons introduites dans le calculateur (voir figure 60). Le résultat obtenu à l'échelle du quartier est de 32,9°C UTCI, ce qui le place, selon l'échelle calibrée (Grosdemouge, 2021), dans une sensation thermique légèrement chaude.

Figure 60 :
Moyennes des variables météorologiques dans le quartier d'Anse Madame

Vitesse de l'air m/s	Temp. de l'air °C	Humidité %	Temp. ambiante °C	Temp. Rayonnante °C
1,6	31,9	41,6	34,1	37,2

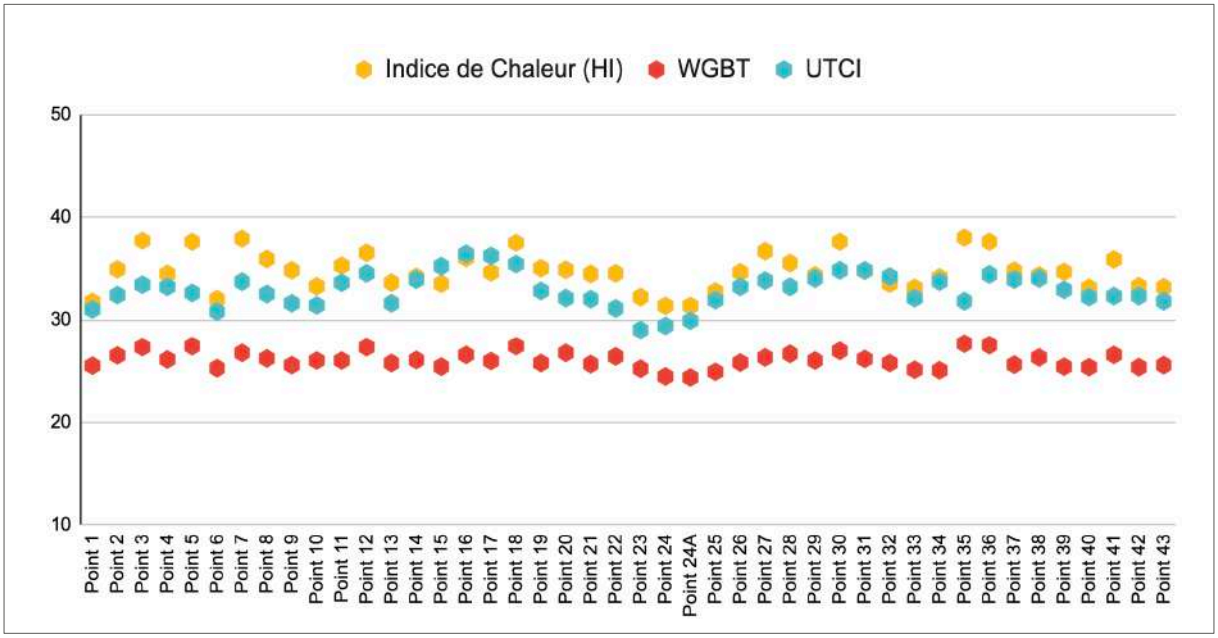
Note : Élaboration propre

Score : 2

Toutefois, il convient de noter que le résultat le plus élevé enregistré est de 36,4°C UTCI, ce qui correspond au point n° 16, situé à l'extrémité nord du quartier, qui est adjacent à la RN2. Ce point coïncide avec l'humidité la plus faible enregistrée dans le quartier et la température de rayonnement la plus élevée. De plus, la vitesse du vent y est relativement faible. Un résultat intéressant à explorer en termes de confort thermique dans l'espace public.

Figure 61 :

Moyennes des Indicateurs de confort thermique sur Anse Madame



Note : Élaboration propre

En général, nous pouvons constater qu'il existe des différences entre les résultats des indicateurs (Figure 61), car chacun d'entre eux analyse le confort sous différents angles et effectue un calcul spécifique à cette fin. Cela signifie que dans certains cas, seules certaines variables météorologiques sont combinées et que dans d'autres cas, l'activité et le type de vêtements seront pris en compte. C'est pour cette raison que l'examen des différents indicateurs de confort nous permet de mieux comprendre l'espace. Cela nous amène à conclure qu'il est essentiel d'analyser l'utilisation qui sera faite de l'espace public afin d'adapter au mieux l'intervention. Un espace destiné au repos et à la contemplation n'aura pas les mêmes caractéristiques de confort qu'un espace destiné à l'activité physique ou récréative, par exemple.

Cela démontre que la qualité de l'aménagement urbain a une grande influence sur le confort thermique de l'espace public. Les espaces ouverts et la végétation contribuent à réduire la température ambiante, tout comme les matériaux architecturaux qui impact la température du rayonnement et les zones ombragées qui protègent les surfaces du soleil. Il est évident que l'espace bâti altèrent fortement les températures ambiantes. Les sources d'eau, telle qu'une rivière, procurent une sensation de fraîcheur en refroidissant l'air, mais ne baissent pas la température ambiante de manière significative.

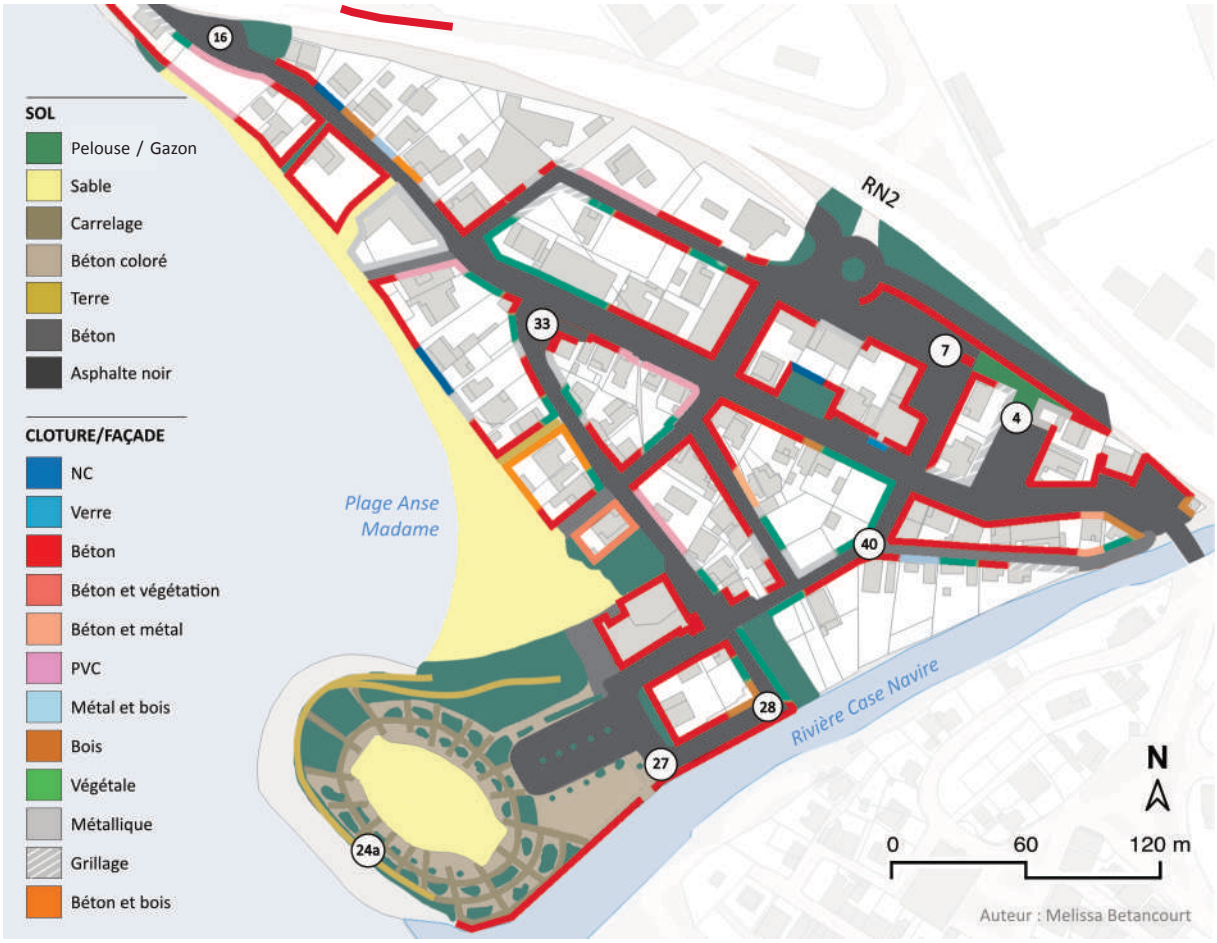
Nous pouvons constater que la température ambiante varie considérablement d'un jour à l'autre, ce qui suggère que la prise de mesures sur plusieurs mois serait nécessaire pour obtenir des conclusions plus précises. Cependant, cette étude approfondie nous permet de connaître la dynamique du climat urbain à une échelle humaine, ainsi que tous les éléments de l'espace public qui peuvent l'altérer.

Les matériaux : caractéristiques des surfaces tels que les revêtements de murs et sols.

Afin d'approfondir dans l'analyse de l'espace public et les caractéristiques physiques pouvant influencer le confort thermique en milieu urbain, nous avons élaboré une carte détaillée des revêtements des clôtures/façades et des matériaux de sols. Nous avons sélectionné huit sites spécifiques pour effectuer des relevés de température de surface et les comparer de manière exhaustive. (Voir figure 62)

Figure 62 :

Carte de matériaux des sols et revêtement des surfaces.



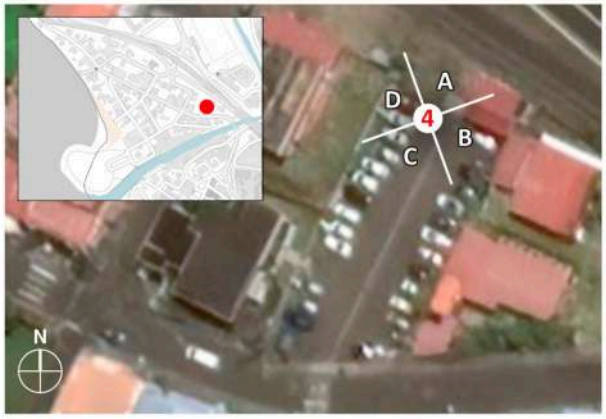
Note : Élaboration propre

La carte montre que la majeure partie de l'espace public est imperméabilisé, avec des routes et des parkings en asphalte noir, ainsi qu'une prédominance de clôtures et de façades en béton.

Au niveau de la plage, lorsque les rayons du soleil atteignent la surface, ils sont absorbés par le sable et convertis en chaleur. Cela est dû à l'interaction entre les particules de lumière et les molécules de sable, ce qui augmente leur mouvement et donc leur température. Il est conseillé de créer des zones ombragées pour baisser la température.

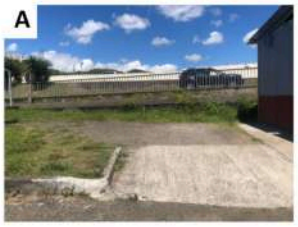
Point numéro 4

Localisation



Températures de surfaces

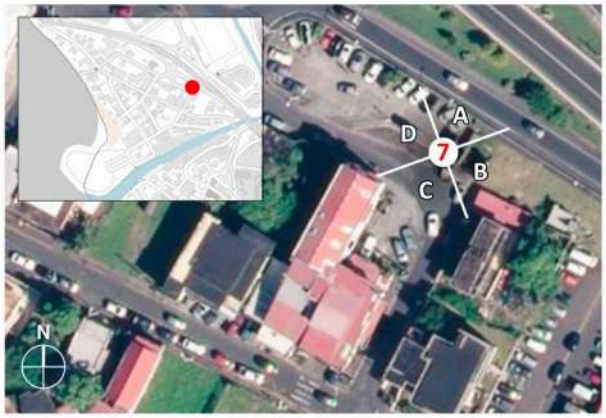
Environnement



Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
32,4 °C	32,7 °C	35,95 °C	46,5 %	1,93 m/s	34,45	26,1	35,95

Point numéro 7

Localisation



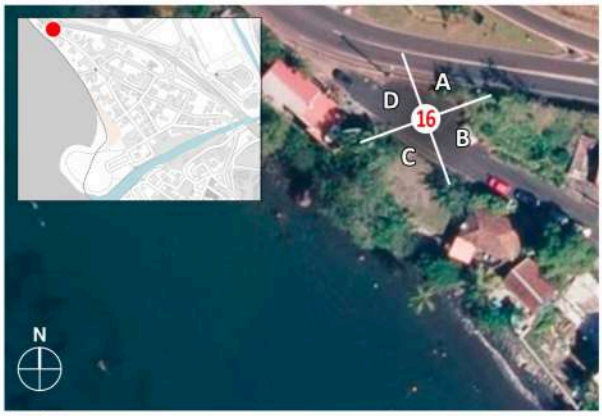
Températures de surfaces

Environnement

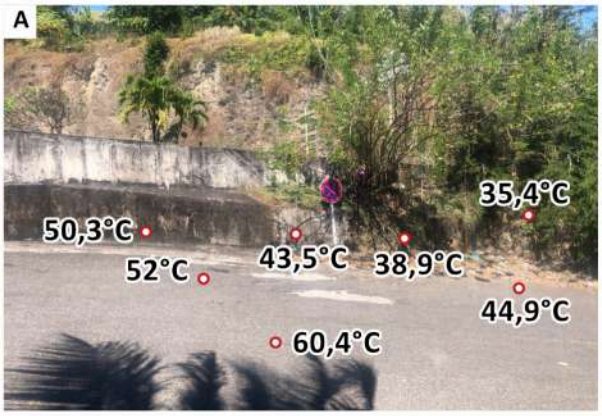
Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
32,45 °C	34,65 °C	36,9 °C	42,55 %	1,10 m/s	37,9	26,75	33,04

Point numéro 16

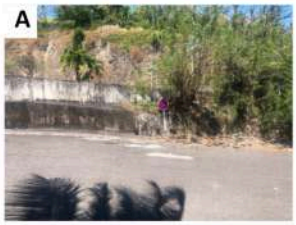
Localisation



Températures de surfaces



Environnement



Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
35,1 °C	36,25 °C	40,25	34,95 %	0,71	36	26,55	36

Point numéro 24a

Localisation

Températures de surfaces

Environnement

Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
29,95 °C	31 °C	33,55 °C	45 %	2,23 m/s	31,35	24,35	29,06

Point numéro 27

Localisation

Températures de surfaces

Environnement

Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
32,5 °C	34,15 °C	37,35 °C	41,65 %	1,05 m/s	36,65	26,3	33,21

Point numéro 28

Localisation

Températures de surfaces

Environnement

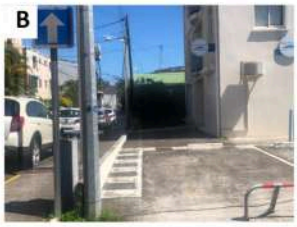
Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
31,7 °C	34,4 °C	37,65 °C	42,65 %	1,03 m/s	35,5	26,65	32,39

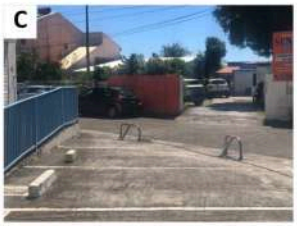
Point numéro 33

Localisation

Températures de surfaces

Environnement





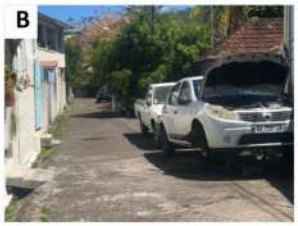
Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
31,8 °C	33,95 °C	38,85 °C	41,05 %	2,95 m/s	33,1	25,1	31,93

Point numéro 40

Localisation

Températures de surfaces

Environnement



Température de l'air	T°C ambiante	T°C rayonnement	Humidité	Vitesse de l'air	Indice de chaleur	WGBT	UTCI
30,95 °C	33,35 °C	35,85 °C	44 %	0,96 m/s	33,1	25,35	31,14

En analysant les données climatiques et les caractéristiques physiques de l'environnement, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

> "Le béton brut, qui a une inertie thermique assez élevée et un albédo faible, absorbe près de 80% de l'énergie qu'il reçoit. Soumis aux rayonnements du soleil, il va se réchauffer lentement. Lorsqu'il ne reçoit plus d'énergie, la nuit, il commence à se refroidir tout aussi lentement, alors que la température de l'air extérieur qui l'entoure a déjà beaucoup baissé. Il restitue ainsi de la chaleur, qui amoindrit l'effet rafraichissant de la nuit, favorisant la création d'ICU." (synthèse ilot de chaleur, Louet et al., 2014).

Les températures les plus élevées de l'air, de l'environnement ambiant et du rayonnement sont enregistrées au point P16, qui est le point culminant du quartier nord et est enclavé par la RN2. Le revêtement du sol en asphalte noir, atteint une température de surface de 60,4°C, avec des murs en béton et un grillage recouvert d'une fibre textile en PVC foncé, offrant très peu d'ombre et limitant la circulation de l'air.

En revanche, les températures les plus basses sont enregistrées au point P24a, situé sur le front de mer à l'esplanade des Arawaks, qui est aménagé avec une grande couverture végétale créant des zones ombragées qui influencent la température des surfaces. Une différence d'environ 20°C est observée entre les revêtements exposés au soleil et ceux protégés par la végétation, mesurée au même endroit et à la même heure, à une distance de moins d'un mètre. La pelouse enregistre la température la plus basse (42°C) tandis que la terre enregistre la température la plus élevée (55°C), avec une différence de 13,3°C entre les deux. Cependant, à l'ombre, la différence n'est que de 3,4°C entre les deux matériaux.

Concernant l'humidité et la vitesse de l'air, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au point P24a et les plus basses au point P16.

Cette analyse nous montre que la variation de l'humidité et de la vitesse de l'air altèrent les températures de l'air, ambiantes et de rayonnement. Les espaces favorisant l'humidité et la circulation de l'air sont les points où les températures sont les moins élevés et vice-versa.

Le tableau ci-dessous résume les interactions entre ces variables (Figure 63) :

Figure 63 :

Relations majoritaires entre les variables climatiques - "Élevée et basse" par rapport aux piques de variation enregistrés.

Humidité %	Vitesse de l'air m/s	T °C de l'air	T °C ambiante	T °C Rayonnante
< 40%	< 1m/s	Élevée > 34°C	Élevée > 31°C	Élevée > 38°C
> 40%	> 2m/s	Basse < 34°C	Basse < 31°C	Basse < 38°C

Note : Élaboration propre

Nous pouvons également observer que les points P33 et P40 ont le même indice de chaleur. Cette observation peut s'expliquer par des caractéristiques physiques similaires, telles que la configuration de croisement de trois rues, les hauteurs des bâtiments et les matériaux de l'environnement immédiat. Cependant, les caractéristiques climatiques diffèrent : les températures de l'air ambiant et du rayonnement sont plus élevées au point 33 par rapport au point 40. Néanmoins, la variable de la vitesse de l'air joue un rôle crucial dans la sensation de chaleur, de même que l'humidité. Contrairement au point 40, le point 33 montre d'une vitesse de l'air plus élevée et d'un niveau d'humidité plus bas.

Pour des conditions de fraicheur nous pouvons nous baser sur les caractéristiques physiques détectés sur l'esplanade des Arawaks qui présente de façon général, les conditions plus favorables en termes de confort. La circulation de l'air, la création de l'ombrage naturel avec la végétation, l'installation de structures d'ombrage fixes, le choix des sols perméables claires et à faible émissivité aident à réduire l'absorption de la chaleur, contribuant à maintenir la surface plus fraîche et à minimiser le rayonnement solaire.

Il faut garder à l'esprit que les activités sur l'espace public et les usages du sol sont intimement liés aux caractéristiques climatiques, car celles-ci sont adaptées à des niveaux de trafic auxquels les matériaux doivent être adaptés. Les commerces, les restaurants, les industries et les gares routières sont des espaces qui requièrent un revêtement de sols spécifique. En général, pour les sols à haute résistance destinés à un trafic lourd et récurrent, on utilise des finitions qui captent davantage plus d'énergie solaire, comme l'asphalte ou le ciment. De même, pour les rues piétonnes ou récréatives qui ne nécessitent pas une résistance aussi élevée, on utilisera des matériaux à faible inertie thermique d'impact. C'est pourquoi il est important de définir les usages du sol de manière efficace et déterminer les zones à refroidir.

Dans le quartier d'Anse Madame, l'utilisation prédominante du sol est résidentielle, l'espace public entre les maisons est principalement destiné à la circulation véhiculaire de fréquence basse à exception de l'avenue Anse Madame. Les finitions des sols pourraient être adaptées dans les zones les moins fréquentées avec des matériaux perméables et d'une faible inertie thermique.

Nous pouvons également observer que les matériaux des clôtures situées en bordure de trottoirs ou de la route, jouent un rôle important sur la température de l'air, ambiante et de rayonnement affectant ainsi le confort des piétons. En général, les points où les températures sont les plus élevées sont les endroits entourés de murs en béton, sols en asphalte noire, qui ne sont pas ombragé et la présence de végétation est faible.

Score matériaux sols : 0

Score matériaux façades : 1

Score matériaux toitures : 1

Résumé des résultats

Dans une perspective d'adaptation au changement climatique, le présent travail d'analyse se termine par la présentation de la grille de diagnostic multi-critère du quartier de l'Anse Madame, avec le score attribué à chaque déterminant de santé. L'objectif est de visualiser simultanément et de manière simple les résultats du diagnostic, de donner lieu à un processus de discussion, de débats, de simulations, d'hypothèses, etc. et de terminer par la prise de décisions d'amélioration.

4. Résultats du diagnostic du quartier Anse Madame

DETERMINANTS BIOLOGIQUES

Indicateurs de référence

Variable \ Valeur	0	1	2	3
Âge	Personnes âgés (65 ans ou plus)	Personnes d'âge mûr moyen (46 - 64 ans)	Personnes d'âge moyen (26 - 45 ans)	Personnes jeunes (15 - 25 ans)
État de santé	Avec plus d'une maladie chronique	Avec une maladie chronique	Avec une maladie NON chronique	Sans maladie chronique
Ressenti thermique	Inconfortable lié à la forte chaleur	Inconfortable lié à la chaleur	Confortable avec sensation de chaleur	Confortable sans sensation de chaleur ni froid

DETERMINANTS SOCIO-ÉCONOMIQUES | STYLE DE VIE

Indicateurs de référence

Variable \ Valeur	0	1	2	3
Alimentation	Aucun	1 à 2 portions par jour	3 à 4 portions par jour	5 ou plus portions par jour
Activité physique	Jamais	Moins de 2 fois par semaine	2 à 3 fois par semaine	Tous les jours
Revenue	Moins de 1000€ par mois	Entre 1000€ et 2500€ par mois	Entre 2500€ et 3000€ Par mois	Plus de 3000€ par mois
Mode de déplacement	Voiture	Transport en commun	Vélo	À pied
Perception de la qualité de vie	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Très bonne
Rapport affective à la ville	Aime pas	Indifférent / Pas attaché	Utilisateur	Amoureux
Perception de la santé	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE

Indicateurs de référence

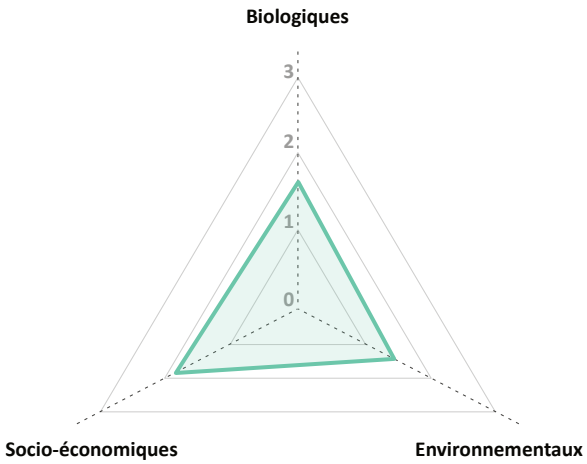
Variable \ Valeur	0	1	2	3
Surfaces majoritairement exposés au rayonnement de soleil (sols, façades)	Exposés au soleil toute la journée	Exposés au soleil pendant une longue durée	Exposés au soleil pendant une moyenne durée	Exposés au soleil pendant une courte durée
Morphologie et orientation des rues en fonction le vents	Blocage des vents dominants - Absence des vents	Forte atténuation de vents dominants	Faible atténuation de vents dominants	Favorisant la direction des vents dominants
Densité - Hauteurs	- Grands ensemble d'habitats collectifs, densité forte - Habitats individuels isolés, densité faible	- Habitats individuels groupés ou en bande, densité faible	Habitats collectifs, densité moyenne	Mixte : Habitats collectifs et individuels groupés, densité moyenne

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE				
	Indicateurs de référence			
Variable / **Valeur**	**0**	**1**	**2**	3
Compacité	Rugosité très forte	Rugosité forte	Rugosité moyen	Rugosité faible
Mixité d'usages - Équipements	1 usage	2 usages	3 à 4 usages	Plus de 4 usages
Proximité aux services de soins	Plus de 5 km			Moins de 5 km
Performance du transport en commun existant (Capacité - Couverture territoriale - qualité - durabilité)	Mauvais	Moyen	Bon	Excellent
Performance des pistes cyclables (continuité - accessibilité - qualité - sécurité)	Mauvais Absence de pistes cyclables	Moyen	Bon	Excellent
Performance des trottoirs - espaces piétons (dimension 1,20m - qualité)	Absent	Discontinu	Continu et < 1,20m	Continu et ≥ 1,20m
Éléments d'ombrages des espaces public	Aucune structure d'ombrage	Espace public en grande partie non ombragé Quelques éléments dispersés	Espace public modérément ombragé Quelques éléments continus	Espace public bien ombragé 60% arbres ou 70% pergola avec lierre ou 85% pergola
Structures de rafraîchissement non naturels	Aucune	Bassins pour les pieds Miroir d'eau Fontaines -1°C	Tours évaporatives -2°C	Brumisateurs -3,5°C
Projets d'agriculture urbaine (AU)	Sans espaces réservés à promouvoir l'AU			Espaces réservés à promouvoir l'AU
Fontaine à au l'eau potable dans l'espace public	Non			Oui
Parcs intra-urbains (Opportunité d'interaction et de rencontres avec une taille minimale de 0,5 ha)*	Dans un rayon de plus de 2km Ou absent	Dans un rayon de 1 à 2km	Dans un rayon de 0,5 à 1km	Dans un rayon de 300 à 500m
Indice de végétation	0%	Couvert < 30%	30% < Couvert < 45%	Couvert > 45%

DETERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX | CADRE DE VIE				
	Indicateurs de référence			
Variable \ Valeur	0	1	2	3
Espace vert (EV) par habitant selon l'OMS	0m²	EV < 5m²	5m² < EV < 10m²	10m² ou plus
Imperméabilisation des sols	Très Fortement imperméabilisé 70 % - 100%	Fortement imperméabilisé 65% - 70%	Moyennement imperméabilisé 50% - 65%	Faiblement imperméabilisé < 50%
Indice de Chaleur (HI)	au-delà de 54°C : Danger extrême	40–53°C : Danger	30 - 39°C : Attention	Jusqu'à 29°C : Aucun trouble
Indice WBGT Activités physiques	Plus de 28° Risque extreme	23 à 28° Risque élevé	18 à 22° Risque modéré	Moins de 18° Risque faible
UTCI	> 52 Très chaud 44 - 52 Extrêmement chaud	36 - 44 Chaud	29 - 36 Légèrement chaud	21 - 29 Neutre
Matériaux des sols	Prédominance de béton, béton bitumineux, d'asphalte noir ou sable	Prédominance de stabilisé	Prédominance de granit Terre ou pierre	Prédominance des surfaces enherbée / Gazon / revêtement drainants
Matériaux de façades	Prédominance sombre, forte inertie thermique	Prédominance de bois, briques ou béton	Prédominance de peintures réfléchissantes ou thermochromiques	Prédominance de façades végétales
Matériaux de toitures	Prédominance de matériaux sombres à forte inertie thermique	Prédominance en béton	Prédominance de tôle ou peintures réflechissantes	Prédominance de toitures végétalisées et/ou panneaux solaires

SCORE		
Déterminants \ Points	Cumulés	Note sur 3
Biologiques	5/9	1,66
Socio-économiques	13/21	1,85
Environnementaux	33/69	1,43

RÉSULTAT DU DIAGNOSTIC SYNTHÉTISÉ



CONCLUSION

Cette étude nous a permis de développer une vision globale du problème de la surchauffe urbaine et de son impact sur la santé humaine. Grâce aux bases théoriques et conceptuelles établies, nous avons identifié plusieurs pistes d'action pour adapter les territoires situé en milieu tropical et créer un environnement urbain plus sain.

Contrairement à l'architecture bioclimatique, l'urbanisme est confronté à la complexité de la recherche du confort dans un espace ouvert qui ne peut être contrôlé aussi facilement que dans un espace fermé. Par conséquent, les stratégies sont basées sur la connaissance des phénomènes physiques de la nature et de sa configuration géographique, tels que le rayonnement solaire, le relief, les vents, l'évapotranspiration des plantes et le cycle de l'eau. Il est donc nécessaire de développer une connaissance approfondie du climat local afin d'ajuster les stratégies de manière appropriée.

Dans les régions tropicales, deux éléments clés sont essentiels pour assurer le confort en extérieur : l'ombre et le vent. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans la régulation de la température et de l'humidité, ce qui est crucial pour favoriser le développement et le bon fonctionnement des villes tropicales.

L'approche axée sur les déterminants de santé nous permet de promouvoir plusieurs concepts favorables à un mode de vie sain et écologiquement responsable. Elle implique de travailler à la fois sur l'adaptation aux changements climatiques et sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui sont à l'origine des îlots de chaleur urbains. Cependant, la végétalisation seule ne suffit pas à résoudre ces problèmes. Pour atteindre nos objectifs, il est essentiel de mettre en place un ensemble d'initiatives intégrant différents aspects des systèmes urbains. Pour y parvenir, il est essentiel de mettre en place un ensemble d'initiatives intégrant différents aspects des systèmes urbains tels que la mobilité douce, l'énergie renouvelable, l'économie circulaire, l'agriculture urbaine, la mixité d'usages, la réservation de la biodiversité ainsi que la réduction des inégalités.

En mettant la santé au centre de nos stratégies, nous nous concentrons non seulement sur les aspects physiques qui améliorent le cadre de vie du quartier et le préparent aux risques, mais aussi sur les stratégies d'aménagement urbain qui renforcent la cohésion sociale et le sentiment d'appartenance à la ville.

La création et l'application de la matrice de référence multi-critère nous a permis d'évaluer la zone d'étude de manière structurée et systématique. Cette vision multisectorielle nous amène à combiner les solutions issues de l'urbanisme bioclimatique et favorable à la santé qui peuvent résoudre et prévenir plusieurs problèmes en même temps. Cela vise à garantir une synergie locale au service d'une stratégie territoriale plus humaine, saine et résiliente.

BIBLIOGRAPHIE

1. Références générales sur le thème - travaux académiques

Berger, J. (2012). *Des climats et des hommes.* Paris : La Découverte. https://doi.org/10.3917/ dec. berge.2012.01

Barbazan, P. (2003). Chapitre 11 : L'apport des nouvelles technologies de l'information à l'amélioration de la surveillance et du contrôle de la dengue. Dans *La dengue dans les départements français d 'Amérique* (p. 127-147) [Carte]. IRD Éditions. https://books.openedition.org/irdeditions/2726?lang=fr#bibliography

Barton, H., & Tsourou, C. (2004). *Urbanisme et santé : Un guide de l'OMS pour un urbanisme centré sur les habitants.* S2D Association internationale pour la promotion de la Santé et du Développement Durable. https://www.euro.who.int/ data/assets/pdf_file/0010/102106/E93982.pdf

Claude, J. P. (2017). Milieux propices au Coffea canephora en Martinique. *VertigO, Volume 17 numéro 3.* https://doi.org/10.4000/vertigo.18923

Cicolella, A. (2013). *Toxique Planète. Le scandale invisible des maladies chroniques* (Anthropocène) (French Edition). Le Seuil.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Cinquième Rapport d'évaluation du GIEC : Changements climatiques.* Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

Lauffenburger, M. (2010, novembre). Îlot de chaleur urbain, plan climat et prévention des canicules urbaines. *Pollution Atmosphérique, Numéro spécial.* https://www.appa.asso.fr/wp-content/uploads/2020/02/Lauffenburger_2010.pdf

Leconte, F. (2015) *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy.* École Doctorale Ressources Procédés Produits Environnement Collegium Sciences et Technologies. Université de Lorraine. HAL Id: tel-01751281

Molina, G. (2012). Aménager les espaces en ménageant le climat : De nouvelles interfaces à construire entre la climatologie urbaine et les praticiens. *Cahier des territoires, 9.* https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01845980/document

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2010). *Villes et adaptation au changement climatique.* La Documentation française.

Oyarzún, M. D. C. (2014, diciembre). Aproximación bioclimática para el diseño de espacios públicos, análisis inicial en distintas plazas chilenas. *Arquitectura y Urbanismo,* XXXV(3). https:// www.redalyc.org/articulo.oa?id=376834397006

Pitte, J. (dir) (1991). *Le climat et la ville.* Nathan.

Service Canada. (2019, novembre). *Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada - Canada.ca.* Canada.ca. https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/vie-saine/

reduire-ilots-chaleur-urbains-proteger-sante-canada.html

Teqoya. (s. d.). *Pollution de l'Air : le facteur chaleur.* https://www.teqoya.fr/pollution-de-lair-le-facteur-chaleur/

Toudert, A. (2005, novembre). *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate.* https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:2078/datastreams/FILE1/content

Trujillo P., C. H., Ospina Lopez, R., & Parra Lara, H. (2010, diciembre). Arquitectura y urbanismo bioclimático : Presente y futuro para el hábitat del hombre contemporáneo. *Scientia Et Technica,* XVII(46). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920977044

UAM Europa. (2020, 11 noviembre). *Sesión 10. Clima y ciudad* [Vidéo]. YouTube. https:// www.youtube.com/watch?v=W6ktuG1j00c

Vecellio, D., Wolf, S., Cottle, R., & Kenney, W. (2022, 28 janvier). Evaluating the 35°C wet-bulb temperature adaptability threshold for young, healthy subjects (PSU HEAT Project). *Journal of applied physiology.* https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/ japplphysiol.00738.2021?journalCode=jappl

Van Uffelen, C. (2013). *Architecture & espaces urbains* (P. Tilche, Trad.). Citadelles & Mazenod.

2. Références spécifiques - en relation directe avec le sujet - travaux académiques

ALOGIA Groupe. (2021, mai). *La Martinique face à une transition démographique sans précédent. Fatalité ou opportunité à agir collectivement ?* https://www.fehap.fr/upload/docs/application/pdf/2021-06/01_06_etude_vieillissement_martinique_-_association_des_maires_juin_2021.pdf

Arantes, L., Baverel, O., Quenard, D., & Dubus, N. (2013). Études « morpho-énergétiques » à l'échelle urbaine : quelle(s) relation(s) entre morphologie et performance énergétique ? *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques « Composition(s) urbaine(s) » , Tours, 2012.* https://www.persee.fr/doc/acths_1764-7355_2013_act_137_2_2558?q=ville+bioclimatique+climatologie+urbain

Barbazan, P. (s. d.). *Chapitre 11 : L'apport des nouvelles technologies de l'information à l'amélioration de la surveillance et du contrôle de la dengue* [Carte]. © IRD Éditions, 2003 Conditions d'utilisation : http://www.openedition.org/6540. https://books.openedition.org/irdeditions/2726

Belin Education. (s. d.). *Le Manuel numérique max - Belin Education.* Géographie Tle. Consulté le 24 mai 2022, à l'adresse https://manuelnumeriquemax.belin.education/geographie-terminale/topics/geo-tle-t5c01-378-a_la-martinique-une-region-ultraperipherique-de-l-union-europeenne

Besancenot, J. P. (1997). Climat, confort, santé et aménagement des villes tropicales. *Géocarrefour*, 72(4). https://www.persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1997_num_72_4_4713?q=climatologie+urbain

Boudon, T., Mourier, Q., Dantec, T. L., & Girard, C. (2016). *Bien vivre la ville. Et si la ville favorisait la santé et le bien-être ?*. Archibooks + Sautereau éditeur.

Boudes, P. (2012). L'impact des trames vertes et de la végétalisation des villes sur l'adaptation des systèmes urbains aux changements climatiques. Une analyse de la littérature scientifique. *Climatologie*, 9, S65-S81. https://doi.org/10.4267/climatologie.626

Bureau d'Études Techniques ECIC. (2014). *Le Rôle de l'Arbre Urbain dans un contexte de Changement Climatique.* Docplayer. https://docplayer.fr/15691038-Le-role-de-l-arbre-urbain-dans-un-contexte-de-changement-climatique.html

Colombert, M. (2008, décembre). *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville.* https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/document

Daniel, M. (2017, novembre). *Villes, climat urbain et climat régional sur la France : étude par une approche de modélisation climatique couplée.* https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01955973/document

Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) Martinique. (2021, juin). *Diagnostic régional santé environnement.* Ginger Burgeap. https:// www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/diagnostic_sante-envt.pdf

Denis, G. (2010, 12 décembre). *Smog et chaleur, un mauvais duo.* lemedecinduquebec. https://lemedecinduquebec.org/Media/108383/029-033DrDenis1210.pdf

Escourrou, G. (1978). *Climatologie pratique* (Collection Géographie) (French Edition). Masson.

Escourrou, G. (1984). Quelques remarques sur la climatologie urbaine (Some remarks about urban climatology). *Bulletin de l'Association de géographes français,* 61(500), 83-97. https://doi.org/10.3406/bagf.1984.5450

Gandrille, B. (s. d.). *Cartothèque* [Carte]. AIHP-GEODE. Consulté le 26 mai 2022, à l'adresse http://www1.univ-ag.fr/aihp-geode/page5/page17/page49/page75/page75.html

Grosdemouge, V. (2020). *Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers* (Doctoral dissertation, La Réunion).

Hassani, N., Drogue, G. Mesure et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019. *Climatologie, edp sciences, 2021,* ff10.1051/climat/202017008ff. mal-02547065v2f

Hidalgo, J., Pigeon, G., Lemonsu, A., & Masson, V. (2008, août). *De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville.* Hal open science. https://hal-meteofrance.archives-ouvertes.fr/meteo-00350227/document

Institut national de la statistique et des études économiques. (2016, 22 septembre). Seniors en Martinique : Un enjeu économique - Insee Analyses Martinique - 10. Insee. Consulté le 8 mai 2022, à l'adresse https://www.insee.fr/fr/statistiques/2128984

Institut national de la statistique et des études économiques. Insee. (2016, 30 juin). *Déplacements*

domicile-travail - Une intensification des déplacements domicile-travail en Martinique - Insee Flash Martinique - 44 [Carte]. Insee. Consulté le 30 mai 2022, à l'adresse https://www.insee.fr/fr/statistiques/2019762#consulter

Joseph, P. (2011). La végétation des Petites Antilles : principaux traits floristiques et effets plausibles du changement climatique [Graphique]. *VertigO, Volume 11 Numéro 1.* https://doi.org/10.4000/vertigo.10886

Kergomard, C. (2006). SIG et environnement atmosphérique urbain. *Géographes associés*, 30. https://www.persee.fr/doc/geoas_1266-4618_2006_num_30_1_2353?q=climatologie+urbain

Kounkou-Arnaud, R., Desplat, J., Lemonsu, A., Salagnac, J. L., & Lauffenburguer, M. (2012). Climatologie. Méthodologie pour la quantification de l'impact d'aménagements urbains sur un climat urbain modifié. *Journal de l'Association Internationale de Climatologie.* http:// lodel.irevues.inist.fr/climatologie/index.php?id=551

Magdelaine, C. (2021, 22 juin). *L'îlot de chaleur urbain : définition et conséquences.* Notre-planete.info. https://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/ilot-chaleur-urbain.php

Magnan, A. (2009). La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique: mise au point conceptuelle et facteurs d'influence. *Analyse Iddri,* 1, 30.

Mhedhbi, Z. (2016) Proposition d'un cadre méthodologique et théorique d'évaluation de la vulnérabilité urbaine.

Marry, S. (dir) (2020). *Adaptation au changement climatique et projet urbain.* Parenthèses.

Mcsweeney, R. (2017, 19 juin). *Billions to face 'deadly threshold' of heat extremes by 2100*, finds study. Carbon Brief. Consulté le 10 mai 2022, à l'adresse https://www.carbonbrief.org/billions-face-deadly-threshold-heat-extremes-2100-study

Météo France. (s. d.). *Le climat* [Graphique]. meteo.fr. Consulté le 24 mai 2022, à l'adresse http://www.meteo.fr/temps/domtom/antilles/pack-public/meteoPLUS/climat/climat_mart.htm

Millet, T. (2016, mai). *L'optimisation d'un projet de transport en commun en site propre : Une proposition de méthode pour le cas du tramway de Montréal*. https://archipel.uqam.ca/8869/1/M14468.pdf

Moreno, C. (2023). *La revolución de la proximidad. De la « ciudad mundo » a la « ciudad de los quince minutos »* . Alianza editorial.

Miguet, F. (2000). *Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain.* Architecture, aménagement de l'espace. Université de Nantes. Français. fftel-00546996f

Observatoire national de la politique de la ville. ONPV. (2016, avril). *Observatoire national de la politique de la ville Rapport annuel 2015.* ONPV. https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/164000273.pdf

Oliva, J., & Courgey, S. (2006). *La conception bioclimatique des maisons confortables et économes*

(Techniques de pro). Terre vivante.

Raute, C. (2019, novembre). *Comment le climat urbain peut-il être pris en compte dans les projets d'aménagement paysager et urbain sous la pression de la surchauffe urbaine?* https:// dumas. ccsd.cnrs.fr/dumas-02374767/document

Raymond, C., Matthewsand, T., & Horton, R. (2020, 8 mai). *The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance.* ScienceAdvances. https://www.science.org/doi/10.1126/ sciadv. aaw1838

Roué-Le Gall, A., & le Gall, J. (2014). *Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils.* Ehesp. https://www.ehesp.fr/wp-content/uploads/2014/09/guide-agir-urbanisme-sante-2014-v2-opt.pdf

Selmi, W. (2014, octobre). *Services écosystémiques rendus par la végétation urbaine Application d'approches d'évaluation à la ville de Strasbourg.* https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01155679/ document

Stagno, B., & Ugarte, J. (2006). *Ciudades tropicales sostenibles. Instituto de Arquitectura Tropical.* https://www.academia.edu/40986472/Ciudades_Tropicales_Sostenibles_Pistas_para_su_Diseño

Sunearthtools.com. (s. d.). *Calcul de la position du soleil dans le ciel pour chaque localisation à importe quel moment* [Graphique]. Sun Earth Tools. Consulté le 31 mai 2022, à l'adresse https:/ /www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr#txtSun_8

Vergriete, Y., & Labrecque, M. (2007, janvier). *Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais.* https://www. agrireseau.net/hor culture-pepiniere/documents/pdf891.pdf

Vida, S. (2011). *Les espaces verts urbains et la santé.* Inspq.qc.ca. https://www.inspq.qc.ca/pdf/ publications/1274_EspacesVertsUrbainsSante.pdf

Vinet, J. (2000). *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs.* Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Nantes. Français. fftel-00490049f

Weather Spark. (s. d.). *Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Martinique* [Graphique]. Weather Spark. https://fr.weatherspark.com/y/150258/Météo-moyenne-à-Martinique-tout-au-long-de-l'année#Figures-WindDirection

3. Références conceptuels et études scientifiques

ADEME, Richez_Associés, Franck Boutté Consultants, & Leonad. (2023, avril). Guide méthodologique pour la transformation des rues ordinaires. https://www.ruecommune.com/guide

Allonier, C., Debrand, T., Lucas-Gabrielli, V., & Pierre, A. (2007). Des indicateurs de santé moins favorables pour les habitants des Zones urbaines sensibles.

a'urba. (2020, septembre). Regard sur l'espace public De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur. Mécanismes en jeu et principes pour des aménagements plus résilients. https://www.aurba.org/wp-content/uploads/2021/01/aurba_ICU-mars.pdf

Beaudoin, M., Levasseur, M.-E., & Direction de la santé environnementale et de la toxicologie. (2017). Verdir les villes pour la santé de la population. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2265_verdir_villes_sante_population.pdf

Blancot, C. (2017). Les îlots de chaleur urbains à Paris – Cahier#4 : Influence climatique des revêtements de sol à Paris.

Boughriet, R. (2023, avril 14). « Des conditions de confort sont possibles en climat tropical, même sans climatisation ». Actu-Environnement; Actu-environnement. https://www.actu-environnement.com/ae/news/etude-coco-imageen-confort-thermique-martinique-mayotte-brasseur-air-climatisation-41577.php4

Bröde, P. (2012). UTCI - Universal Thermal Climate Index. UTCI. http://www.utci.org/utci_doku.php

Bröde, P., Kampmann, B., & Fiala, D. (2016). Extending the Universal Thermal Climate Index UTCI towards varying activity levels and exposure times. https://www.semanticscholar.org/paper/Extending-the-Universal-Thermal-Climate-Index-UTCI-Br%C3%B6de-Kampmann/96c8813db9905f02982eb099e5b7546f3ce5a031#citing-papers

Büro für mobilität, Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, & Observatoire universitaire du vélo et des mobilités actives. (2023a). Guide vélo. https://www.guide-velo.ch/pdf/guide_velo_f.pdf

Büro für mobilität, Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, & Observatoire universitaire du vélo et des mobilités actives. (2023b). Guide Vélo—Mesures de promotion du vélo.

Bustamante Oleart, C. (2015). La ciudad y el viento.

Cabras, E. (2014). Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona : Estudio del comportamiento térmico de calles urbanas con diferente relación de aspecto (h/w) y orientación en dos barrios de Barcelona [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23641

Cardenas, L. A. (2012). Caracterización de patrones bioclimáticos en tejidos urbanos residenciales. Cuadernos De Investigacion Urbanistica. https://www.academia.edu/62289006/Caracterizaci%C3%B3n_de_patrones_bioclim%C3%A1ticos_en_tejidos_urbanos_residenciales

Cerema. (2020, mai 28). Aménagements provisoires pour les piétons : Tester pour aménager durablement. Cerema. http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/amenagements-provisoires-pietons-tester-amenager-durablement

Cerema et ADEME. (2021, mai). Rafraîchir les villes. La librairie ADEME. https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4649-rafraichir-les-villes-9791029717475.html

Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. (2021). Rendre sa voirie cyclable. Les clés de la réussite.

Chavez, J. R., & Fuentes Freixanet, V. (1985). Viento y arquitectura : El viento como factor de diseño arquitectónico. SERBIULA (sistema Librum 2.0).

Cordeau, E. (2017). Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine.

David, Q. (2022). Gratuité des transports en commun et congestion routière : Revue de la littérature et implications pour Paris: Revue d'économie Politique, Vol. 132(3), 421-452. https://doi.org/10.3917/redp.323.0421

Deboeuf De Los Rios, G., Barra, M., & Grandin, G. (2022). Renaturer les villes. Méthode, exemples et préconisations.

Delugin, L., Le Naour, M., & Génin-Icar, L. (2022, octobre). Faire la ville dense, durable et désirable. La librairie ADEME. https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5989-faire-la-ville-dense-durable-et-desirable-9791029720192.html

Denef, J. (2011). La fabrique de parcs intra-urbains contemporains. aménagement du territoire.

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie. (2021). Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains : Mise à jour 2021.

EHESP & a-urba. (202apr. J.-C.). Ilots de chaleur urbains : ISadOrA.

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J., Gomez-Baggethun, E., Nowak, D., Kronenberg, J., & De Groot, R. (2015, mai 22). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas | Elsevier Enhanced Reader. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001

Fariña, J., Fernandez, V., Gálvez, M. Á., Hernández, A., & Urrutia, N. (2013). Manual de Diseño Bioclimático Urbano. https://www.academia.edu/40752998/Manual_de_Dise%C3%B1o_Bioclim%C3%A1tico_Urbano

Ferrand, J.-P. (2017, janvier 23). Normalisation de l'offre d'espaces verts : Des progrès en vue ? Sociotopes en France. https://sociotopes.home.blog/2020/04/29/normalisation-de-loffre-despaces-verts-des-progres-en-vue/

Flint, E., & Cummins, S. (2016, mars 16). Active commuting and obesity in mid-life : Cross-sectional, observational evidence from UK Biobank. https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587(16)00053-X/fulltext

Francis, M. (2021, mars 1). The right "5-a-day" mix is 2 fruit and 3 vegetable servings for longer life. American Heart Association. https://newsroom.heart.org/news/the-right-5-a-day-mix-is-2-fruit-and-3-vegetable-servings-for-longer-life

Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands_ A review of strategies to mitigate adverse effects | Elsevier Enhanced Reader. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057

Gaillard, C. (2022). Moduler le climat : Genèse, développement et significations de la conception bioclimatique en architecture (1947-1986) [Phdthesis, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I]. https://theses.hal.science/tel-03881721

Gehl, J. (2014). Ciudades para la gente.

Gossement, A. (2022, juin 13). îlot de chaleur urbain : Une notion absente du droit positif mais déjà émergente dans la jurisprudence administrative. Cabinet Gossement Avocats. https://blog.gossement-avocats.com/blog/environnement/ilot-de-chaleur-urbaine-une-notion-encore

GREC-SUD. (2017, juillet 4). GREC-SUD – Les enjeux du climat urbain. GREC-SUD. http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-ville/les-enjeux-du-climat-urbain/

Grosdemouge, V. (2021). Proposition d'indicateurs de confort thermique et estimation de la température radiante moyenne en milieu urbain tropical. Contribution à la méthode nationale d'évaluation des ÉcoQuartiers [Phdthesis, Université de la Réunion]. https://doi.org/10/document

Haddak-Bayce, S. (2020). De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur.

Holyst, C., Gonvalves, V., Hennequin, A., Michel, A., & Dentz, C. (2019, avril). PLU(i) & Biodiversité. Concilier nature et aménagement. Guide technique. https://www.nature-en-ville.com/sites/nature-en-ville/files/document/2021-11/guide_PACA_PLUi%20et%20biodiversite_2019.pdf

Île de France mobilités. (s.d.). Guide des aménagements en faveur des transport en commun routiers réguliers.

Île-de-France Mobilités. (2016). Guide des aménagements voirie web. https://www.iledefrance-mobilites.fr/medias/portail-idfm/a699390e-27cf-475e-ace6-8d89405aaf60_Guide_des_am%C3%A9nagements_voirie_web.pdf

Jacobs, J. (1961). Déclin et survie des grandes villes américaines.

Konijnendijk, C. (2021). The 3-30-300 Rule for Urban Forestry and Greener Cities. 4.

La arquitectura bioclimática trata exclusivamente de jugar con el diseño de la casa. (2004). La arquitectura bioclimática trata exclusivamente de jugar con el diseño de la casa.

Laaidi, K., Ung, A., Pascal, M., & Beaudeau, P. (2014). Vulnérabilité à la chaleur.

Lacomba, R. (1991). Manual de arquitectura solar.

Lynch, K. (1998). L'Image de la cité.

Mairie de Montreuil. (s.d.). Fiche n°25 Surfaces végétalisées (espaces verts / habitants).

Manusset, S. (2012). Impacts psycho-sociaux des espaces verts dans les espaces urbains. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, Vol. 3, n° 3, Article Vol. 3, n° 3. https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9389

Martouzet, D. (2013). La notion de liberté comme concept analytique de la construction du rapport

affectif des individus envers la ville. Norois. Environnement, aménagement, société, 227, Article 227. https://doi.org/10.4000/norois.4685

Masselot, P., Mistry, M., Vanoli, J., Schneider, R., Iungman, T., Garcia-Leon, D., Ciscar, J.-C., Feyen, L., Orru, H., Urban, A., Breitner, S., Huber, V., Schneider, A., Samoli, E., Stafoggia, M., de'Donato, F., Rao, S., Armstrong, B., Nieuwenhuijsen, M., … Aunan, K. (2023). Excess mortality attributed to heat and cold : A health impact assessment study in 854 cities in Europe. *The Lancet Planetary Health*, 7(4), e271-e281. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00023-2

Mentec, S. L. (2023). Impact de la végétalisation sur l'îlot de chaleur urbain et la pollution d'ozone : Quantification par une approche de modélisation à l'échelle d'un quartier.

Morier, M.-A. (2016). Vincent Kaufmann, Emmanuel Ravalet, Élodie Dupuit (dir.), Motilité et mobilité : Mode d'emploi. Lectures. https://doi.org/10.4000/lectures.20759

Nieuwenhuijsen, M. J., Dadvand, P., Márquez, S., Bartoll, X., Barboza, E. P., Cirach, M., Borrell, C., & Zijlema, W. L. (2022). The evaluation of the 3-30-300 green space rule and mental health. Environmental Research, 215, 114387. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114387

Novascopia. (s.d.). Aménager avec des espaces verts favorable à la santé.

OMS. (2022, octobre 5). Activité physique. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity

Pascal, M., Laaidi, K., & Beaudeau, P. (2019). Intérêt des espaces verts et ombragés dans la prévention des impacts sanitaires de la chaleur et de la pollution de l'air en zones urbaines. Santé Publique, S1(HS1), 197-205. https://doi.org/10.3917/spub.190.0197

Peneau, J.-P. (1995). Des densités aux rugosités. Les modalités instrumentales d'une transposition. Les Annales de la Recherche Urbaine, 67(1), 128-134. https://doi.org/10.3406/aru.1995.1884

Pommier, G., Provendier, D., Gutleben, C., & Musy, M. (2014). Programme de recherche VegDUD - Impacts du végétal en ville.

Potvin, L., Moquet, M.-J., & Jones, C. M. (2010). Réduire les inégalités sociales en santé. INPES.

Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2019). Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. Urban Ecosystems, 22(4), 683-697. https://doi.org/10.1007/s11252-019-00853-x

Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance : Archetypes, analysis and an arid climate. Energy and Buildings, 35(1), 49-59. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8

Requena-Ruiz, I. (2012). Bioclimatismo en la arquitectura de Le Corbusier : El Palacio de los Hilanderos. Informes de la Construcción, 64(528), 549-562. https://doi.org/10.3989/ic.11.121

Réseau français des Villes-Santé de l'OMS. (2020). Éléménts de préconisation. Espaces verts urbains. Promouvoir l'équité et la santé.

Romo Rojas, R. A. (2014). Vegetación y Microclima Urbano. 1. https://www.academia.edu/85003754/Vegetaci%C3%B3n_y_Microclima_Urbano

Roué-Le Gall, A., Thomas, M.-F., Deloly, C., Romagon, J., Clément, B., & Nassiet, C. (2020). Le guide ISadOrA. une démarche d'accompagnement à l'Integration de la Santé dans les Opérations d'Aménagement urbain.

Santé Publique France. (2019, juin 13). Les individus sont-ils tous égaux face à la chaleur ? https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaleurs-canicule/les-individus-sont-ils-tous-egaux-face-a-la-chaleur

Saramon, A. T. (2023, mars 20). Confort des bâtiments : Des référentiels inadaptés à l'Outre-mer, révèle une étude – Batipresse. https://www.batipresse.com/2023/03/20/confort-des-batiments-des-referentiels-inadaptes-a-loutre-mer-revele-une-etude/

Science & Vie. (2022, mai 6). La demande de nature s'intensifie en milieu urbain. Science et vie. https://www.science-et-vie.com/article-magazine/la-demande-de-nature-sintensifie-en-milieu-urbain

Science & Vie, R. (2018, juillet 15). Verdure rime avec fraîcheur ! Science et vie. https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/les-murs-vegetalises-font-ils-baisser-la-temperature-en-ville-55862.html

Science & Vie, R. (2019, avril 21). Face aux canicules, quelles solutions pour nos villes ? Science et vie. https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/face-aux-canicules-quelles-solutions-pour-nos-villes-1505.html

Science & Vie, R. (2023, avril 19). Canicule : Paris serait la ville la plus mortelle d'Europe en cas de forte chaleur. Science et vie. https://www.science-et-vie.com/nature-et-environnement/canicule-paris-mortalite-mort-europe-de-l-ouest-fortes-chaleurs-paris-londres-102927.html

Societe du Grand Paris. (2022, juin). Référentiel environnemental et sociétal des projets urbains et immobiliers de la société du Grand Paris. https://media-mediatheque.societedugrandparis.fr/pm_1_168_168383-hx0v6xt10y.pdf

Tramaille, A. (2023, mars 23). La conception bioclimatique comme source d'inspiration : Entretien avec Clément Gaillard 1/2. Matières Premières by Emilieu. https://www.matierespremieres.emilieustudio.com/la-conception-bioclimatique-comme-source-dinspiration-entretien-avec-clement-gaillard-1-2/

Trotec. (s. d.). Mesure climatique, « indice de chaleur » et « température ressentie »—TROTEC. https://fr.trotec.com/produits-et-services/appareils-de-mesure/climat/appareils-de-mesures-climatiques/thermohygrometre-bc25/

Vallette, E., & Cordeau, E. (2010). Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiches connaissance.

Vichot, T. (2020). L'urbanisme du bien-être ou comment concilier santé et urbanisme ?

Vivre en Ville. (2018a). Favoriser la seine alimentation grâce aux outils d'aménagement du territoire.

https://vivreenville.org/media/920387/favoriser-la-saine-alimentation-tirshv.pdf

Vivre en Ville. (2013a, décembre 5). Compacité / Densité—Collectivités viables. https://collectivitesviables.org/articles/compacite-densite.aspx

Vivre en Ville. (2013b, décembre 5). Mixité des activités—Collectivités viables. https://collectivitesviables.org/articles/mixite-des-activites.aspx

Vivre en Ville. (2018b, janvier 18). Mobilité durable—Collectivités viables. https://collectivitesviables.org/articles/mobilite-durable.aspx

WHO. (2021). Green and Blue Spaces and Mental Health. New Evidence and Perspectives for Action.

World Health Organization. (2021). Green and blue spaces and mental health.

Yahia, M. W., Johansson, E., Thorsson, S., Lindberg, F., & Rasmussen, M. I. (2018). Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. International Journal of Biometeorology, 62(3), 373-385. https://doi.org/10.1007/s00484-017-1380-7

Yin, Y., He, L., Wennberg, P. O., & Frankenberg, C. (2023). Unequal exposure to heatwaves in Los Angeles : Impact of uneven green spaces. Science Advances, 9(17), eade8501. https://doi.org/10.1126/sciadv.ade8501

4. Autres sources d'information grand public

Fortes chaleurs, canicule. (2021, 9 décembre). Santépubliquefrance.fr. Consulté le 26 mars 2022, à l'adresse https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaleurs-canicule/publications/#tabs

(S/f). Meteofrance.mq. Consulté le 26 de mars 2022, sur https://meteofrance.mq/fr/climat

Organisation Mondiale de la Santé. (2020, 9 décembre). *The top 10 causes of death.* https:// www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death

Réchauffement climatique : causes, conséquences et solutions. (2021, 26 février). Greenpeace France. https://www.greenpeace.fr/dereglement-climatique/

United Nations. (2021). *Cambio Climático | Naciones Unidas.* https://www.un.org/es/climatechange

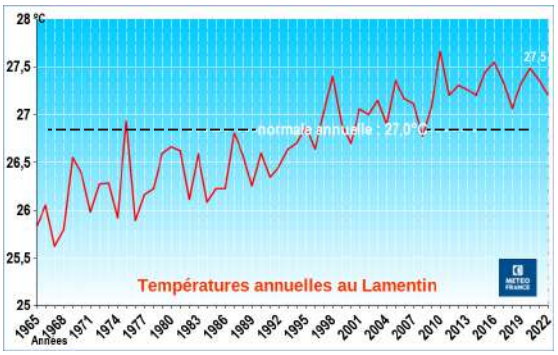
Revenus et pauvreté des ménages en 2019 − Commune de Fort-de-France (97209) | Insee. (2022, 28 février). insee.fr. Consulté le 30 mars 2022, à l'adresse https://www.insee.fr/fr/statistiques/6037462?geo=COM-97209

ANNEXES

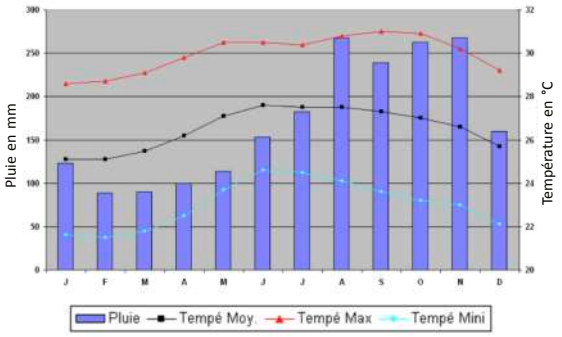
Annexe 1.

Fiche résumé données climatiques de la Martinique

Évolution de la température moyenne annuelle au Lamentin

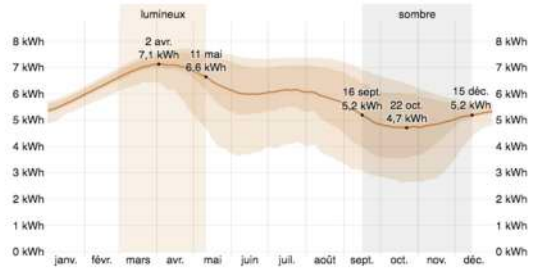


Moyennes 1971 - 2000 des précipitations et températures au Lamentin

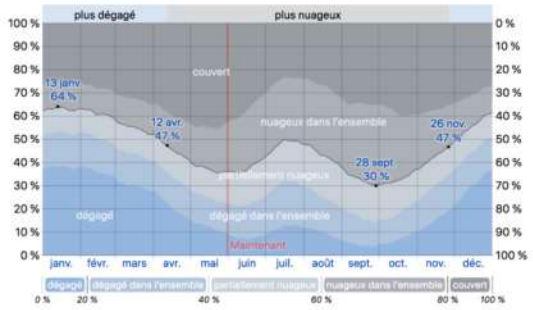


Note : Figures adaptées à partir de «Bulletin climatique annuel. Martinique 2021, encore une année chaude» Météo France, 2021. https://meteofrance.mq/fr/climat/bulletin-climatique-annuel-2022

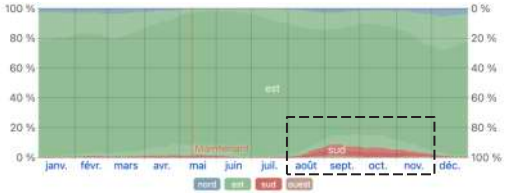
Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen



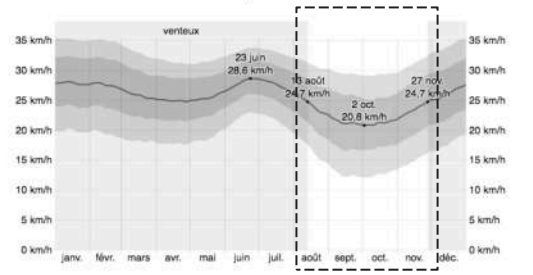
Catégories de couverture nuageuse



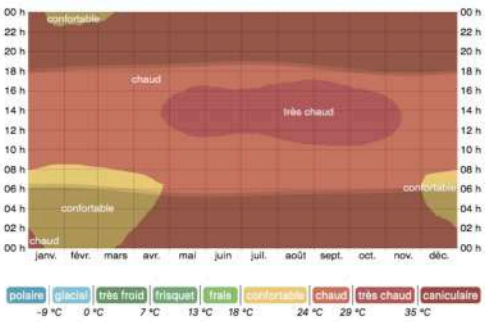
Direction des vents



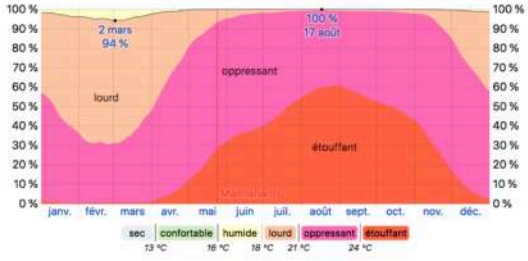
Vitesse moyenne du vent



Température horaire moyenne



Niveaux de confort selon l'humidité



Note : Figures adaptées à partir de «Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Martinique.» Weather Spark. S.d. https://frweatherspark.com/y/150258/Météo-moyenne-à-Martinique-tout-au-long-de-l'année#Figures-WindDirection

Annexe 2.
Fiche résumé équipements et professionnels de santé

Etablissement de santé	
Secteur public	14
Centre hospitalier régional (CHR/CHU)	5
Centre hospitalier (CH) (dont anciens hôpitaux locaux)	8
Établissement de lutte contre les maladies mentales (y compris CHS)	1
Autre unité du service public	0
Secteur privé	13
Établissement de soins de courte durée	3
Centre de lutte contre le cancer	0
Établissement de lutte contre les maladies mentales (y compris CHS)	0
Établissement de soins de suite et de réadaptation	2
Centre de dialyse	7
Autre établissement privé	1
Ensemble	27
dont établissements ayant une maternité	3

Court séjour hospitalier	public	privé
Médecine		
Hospitalisation à temps plein (lits)	564	15
Hospitalisation partielle ou ambulatoire	67	0
Chirurgie		
Hospitalisation à temps plein (lits)	224	50
Hospitalisation partielle ou ambulatoire	34	18
Gynécologie-obstétrique		
Hospitalisation à temps plein (lits)	81	18
Hospitalisation partielle ou ambulatoire	6	0
Hospitalisation à domicile (places)	0	115

Équipements personnes âgées	
Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD)	
Nombre d'établissements	24
Nombre total de places installées	1 611
Dont places en accueil temporaire	40
Dont places en accueil de jour	18
Autres établissement d'hébergement pour personnes âgées	
Nombre d'établissements	8
Nombre total de places installées	108
Dont places en accueil temporaire	0
Dont places en accueil de jour	12
Résidence autonomie	
Nombre d'établissements	2
Nombre total de places installées	62
Dont places en accueil temporaire	0
Dont places en accueil de jour	0
Etablissements de soins de longue durée (ESLD)	
Nombre d'ESLD	3
Nombre de lits	134
Centre de jour pour personnes âgées	
Nombre d'établissements	4
Nombre total de places installées	52
Dont places en accueil temporaire	12
Services de soins infirmiers à domicile pour personnes âgées (SSIAD + SPASAD)	
Nombre de services	11
Nombre de places	468

Taux d'équipement	Martinique	France Hexa
Taux d'équipement en places dans les EHPAD pour 1 000 personnes âgées de 75 ans et plus	44,3	99,5
Taux d'équipement en places dans les structures non EHPAD pour 1 000 personnes âgées de 75 ans et plus (places en non EHPAD, logements de résidences-autonomie, places ESLD)	8,4	25,7
Taux d'équipement en places dans les centres de jour pour personnes âgées pour 1 000 personnes âgées de 75 ans et plus	1,4	0,6
Taux d'équipement en places dans les services de soins infirmiers à domicile pour 1 000 personnes âgées de 75 ans et plus (SSIAD + SPASAD)	12,9	20,4

Taux d'équipement par catégorie d'établissement	Martinique	France Hexa
Places d'accueil spécialisé pour adultes handicapés	0,4	0,8
Places d'accueil médicalisé pour adultes handicapés	0,7	0,8
Places dans les foyers de vie (inclut les foyers occupationnels)	0,4	1,6
Taux d'équipement en places dans les Établissements et Service d'Aide par le Travail (ESAT)	2,9	3,6

Démographie médicale - densité par 100 000 hab.	Martinique	France Hexa
Médecins généralistes	141	153
Médecins spécialistes	150	187
Chirurgiens-dentistes	53	64
Infirmiers diplômés d'État	1156	1053
Pharmaciens	90	111

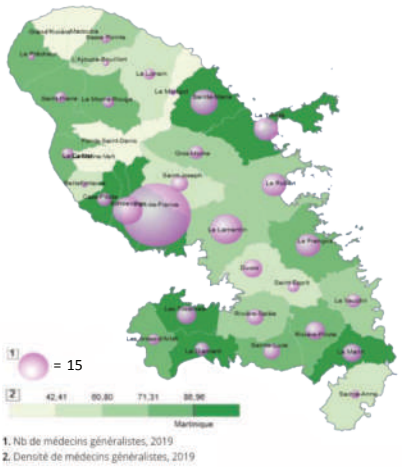
Spécialités par rapport au maladie chroniques	libéraux ou mixtes	salariés exclusifs
Cardiologie et maladies vasculaires	15	13
Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire	0	3
Chirurgie vasculaire	1	0
Pneumologie	6	6
Endocrinologie et métabolisme	5	4
Gastro-entérologie et hépatologie	8	3

Note : Elaboration propre à partir de «STATistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane» ARS, 2019.

Implantation de l 'offre sanitaire

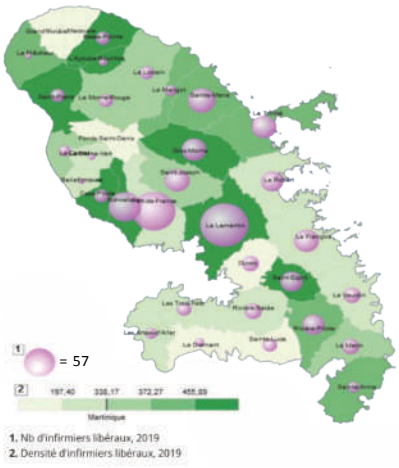
Note : Adapté à partir de «Diagnostic territorial des besoins des personnes âgées en matière de prévention de la perte d 'autonomie et recensement des initiatives en Martinique» p.32. Collectivité territoriale de Martinique. S.d.

Médecins généralistes 2019



Note : Adapté à partir de «STATistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane» ARS, 2019.

Infirmiers libéraux 2019



Note : Adapté à partir de «STATistiques et Indicateurs de la Santé et du Social Antilles-Guyane» ARS, 2019.

Annexe 3.

Enquête par questionnaire réalisé à Anse Madame

ENQUÊTE

Évaluation du confort thermique de l'espace public et de la vulnérabilité de la population face à la chaleur

1. Lieu (Quartier Anse Madame)
a.Plage Anse Madame
b.Place
c.Rue
d.Parking
e.Abribus

2. Genre
a.Femme
b.Homme

3. Âge
a.Personnes jeunes (15 - 25 ans)
b.Personnes d'âge moyen (26 - 45 ans)
c.Personnes d'âge mûr moyen (46 - 64 ans)
d.Personnes de 65 ans ou plus

4. Vous êtes ...
a.Résident de ce quartier
b.Touriste
c.Passant
d.Autre

Qualité de l'aménagement urbain et de l'espace public

5. Comment évalueriez-vous la qualité de vie dans le quartier ?
a.Très bonne
b.Bonne
c.Moyenne
d.Mauvaise

6. Pourquoi ?

7. Comment décririez-vous votre rapport affectif à ce quartier ?
a.J'aime beaucoup ce quartier
b.J'aime plutôt ce quartier
c.Je n'ai pas d'opion particulière sur ce quartier
d.Je n'aime pas ce quartier
e.Confort thermique

8. Quelle est votre sensation thermique en ce moment ?
a.Très chaud
b.Chaud
c.Neutre (sans sensation de chaleur ni de froid)
d.Froid

9. En termes de confort, vous considérez que cette sensation est :
a.Confortable
b.Inconfortable

10. D'après vous, quelle est la température en ce moment ?
24°C - 25°C - 26°C - 27°C - 28°C - 29°C - 30°C - 31°C - 32°C - 33°C - 34°C - 35°C - Plus de 35°C

Habitudes de vie

11. Quelle est votre fréquence d'activité physique hebdomadaire (marche, jogging, vélo, natation, etc.) ?
a.Tous les jours
b.2 à 3 fois par semaine
c.Moins de 2 fois par semaine
d.Jamais

12. Combien de fois par semaine utilisez-vous les parcs, plages, espaces verts ou installations sportives pour des activités physiques ou de loisirs ?
a.Tous les jours
b.2 à 3 fois par semaine
c.Moins de 2 fois par semaine
d.Jamais

13. Combien de fruits et de légumes consommez-vous en moyenne par jour ?
a.Plus de 5 portions
b.3 à 4 portions
c.1 à 2 portions
d.Aucun

14. Comment vous déplacez-vous généralement dans le quartier ?
a.À pied
b.À vélo
c.En transport en commun
d.En voiture

État de santé

15. Comment est votre état de santé général ?
a.Très bon
b.Bon
c.Moyenne
d.Mauvais

Maladies chroniques

16. Avez-vous actuellement une ou plusieurs maladies chroniques ?
a.Non
b.Non seulement une maladie mais, NON chronique
c.Oui, une maladie chronique
d.Oui plus d'une maladie chronique
e.Je ne sais pas

Caractéristiques socio-économiques

17. Avez-vous actuellement un emploi à temps plein ou partiel ?
a.Oui
b.Non, je suis actuellement au chômage
c.Non, je ne suis pas actuellement en recherche d'emploi
d.Non, je suis actuellement en recherche d'emploi

18.Quel est le revenu moyen du ménage ?
a.Plus de 3000 €/mois
b.Entre 2500 et 3000 €/mois
c.Entre 1000 et 2500 €/mois
d.Moins de 1000 €/mois

Annexe 4.

Tableux de messures climatiques - Anse Madame

Collecte de données climatiques 19 Février 2023

Lieu :	Anse madame Schoelcher					**Date :** 19 février 2023		**Heure :**	12:00 - 14:30
Latitude	Longitude	Nom	Indice de Chaleur (HI)	WGBT	Vitesse de l'air m/s	Température de l'air °C	Humidité %	Température ambiente °C	Température Rayonnante °C
-61,100943	14,6175378	Point 1	32,50	25,50	2,16	30,30	45,10	33,00	34,30
-61,1011455	14,6176078	Point 2	33,50	26,20	0,92	30,70	45,30	33,10	33,80
-61,1015599	14,6175975	Point 3	38,40	27,00	3,03	32,20	43,50	34,30	37,40
-61,1014418	14,617966	Point 4	37,50	27,60	1,09	33,80	46,00	32,60	36,10
-61,1019438	14,6177418	Point 5	37,20	26,80	0,77	31,90	42,50	34,80	36,10
-61,1017831	14,6179996	Point 6	33,30	26,50	2,25	31,90	46,90	31,90	34,80
-61,1016805	14,6181425	Point 7	36,60	27,00	0,92	32,70	41,80	35,00	37,40
-61,1019487	14,6181892	Point 8	36,30	25,80	1,37	31,90	45,30	32,50	37,40
-61,1021794	14,6183358	Point 9	33,30	25,50	3,41	29,70	38,80	34,90	35,30
-61,1024951	14,6183416	Point 10	31,00	24,50	3,64	29,90	40,40	33,70	36,80
-61,1027687	14,6186256	Point 11	33,00	25,30	2,52	30,60	38,60	34,90	35,40
-61,1031616	14,6187949	Point 12	36,00	27,30	1,10	31,80	37,80	36,30	36,80
-61,1035305	14,6185548	Point 13	34,80	26,00	0,70	31,80	42,80	32,10	37,00
-61,1037814	14,6187521	Point 14	33,20	25,50	0,97	32,10	41,70	31,40	35,60
-61,104057	14,6190004	Point 15	32,00	25,00	2,32	32,80	40,70	33,10	36,20
-61,1044983	14,6192795	Point 16	36,00	26,80	1,02	34,10	35,30	36,20	39,80
-61,1039235	14,618409	Point 17	34,20	26,30	0,55	34,20	39,20	34,50	38,90
-61,103731	14,61794	Point 18	35,00	26,80	0,88	33,50	39,70	34,20	39,60
-61,1034918	14,6174375	Point 19	35,40	26,50	1,46	33,30	36,00	36,80	38,80
-61,1035682	14,6169884	Point 20	34,70	26,70	2,14	30,80	36,50	36,30	37,20
-61,1031533	14,6169006	Point 21	35,70	26,00	1,99	30,00	39,70	34,30	35,50
-61,103671	14,6167977	Point 22	33,00	26,20	2,14	30,60	37,50	35,80	36,60
-61,1041564	14,616494	Point 23	35,00	26,30	3,13	30,22	42,60	32,60	37,00
-61,1034403	14,6160502	Point 24	31,50	24,50	1,18	29,20	44,30	32,10	32,90
-61,1039049	14,6161791	Point 24A	32,70	25,00	1,81	30,90	41,10	32,50	35,50
-61,1031855	14,616398	Point 25	33,50	25,20	1,53	32,40	43,50	32,00	35,20
-61,103156	14,6166835	Point 26	35,00	26,40	0,58	32,60	44,20	31,70	35,00
-61,1027426	14,616638	Point 27	38,00	27,00	1,14	32,00	39,00	35,80	38,50
-61,1024073	14,616817	Point 28	35,00	26,50	0,84	32,00	41,50	35,40	38,70
-61,1025361	14,6171232	Point 29	35,30	27,00	1,54	33,30	40,60	35,30	39,70
-61,1028565	14,6174339	Point 30	39,20	27,20	0,51	34,30	37,80	37,10	40,00
-61,1030537	14,6176246	Point 31	35,00	25,80	1,60	33,30	42,70	33,20	39,80
-61,1032414	14,617876	Point 32	32,00	24,50	2,29	32,00	43,50	32,00	36,20
-61,1033194	14,6182666	Point 33	32,40	25,00	2,83	30,90	40,50	33,80	37,60
-61,1029922	14,6182264	Point 34	34,00	24,70	1,06	32,60	42,80	33,00	37,60
-61,1026918	14,6180616	Point 35	35,00	26,30	2,97	30,40	41,80	32,90	36,20
-61,102327	14,6178838	Point 36	37,80	27,50	1,88	32,80	40,00	34,20	38,70
-61,1027018	14,6178253	Point 37	35,50	25,80	0,64	33,10	40,70	33,80	37,40
-61,1025543	14,6175502	Point 38	33,30	25,40	1,19	32,60	42,60	33,40	38,90
-61,1023209	14,6172414	Point 39	36,00	25,30	1,30	31,70	40,90	34,90	37,10
-61,1020017	14,6173711	Point 40	35,00	26,40	1,49	31,70	39,00	35,90	38,20
-61,1016128	14,6173218	Point 41	36,40	26,40	1,90	31,70	36,40	38,20	40,10
-61,1011058	14,6174101	Point 42	33,00	25,30	1,01	31,60	40,00	34,80	37,60
-61,1008922	14,6173599	Point 43	31,50	24,40	3,77	31,00	41,90	33,40	37,50

Collecte de données climatiques 20 Février 2023

Lieu : Anse madame Schoelcher						**Date :** 20 février 2023		**Heure :** 12:00 - 14:30	
Latitude	Longitude	Nom	Indice de Chaleur (HI)	WGBT	Vitesse de l'air m/s	Température de l'air °C	Humidité %	Température ambiente °C	Température Rayonnante °C
-61.100943	14.6175378	Point 1	31,00	25,50	1,59	30,90	48,30	31,60	32,90
-61.1011455	14.6176078	Point 2	36,30	26,80	1,87	32,50	41,40	34,70	36,20
-61.1015599	14.6175975	Point 3	37,00	27,60	0,96	33,10	44,40	33,60	35,90
-61.1014418	14.617966	Point 4	31,40	24,60	2,77	31,00	47,00	32,80	35,80
-61.1019438	14.6177418	Point 5	38,00	28,00	0,39	31,30	41,50	35,70	34,80
-61.1017831	14.6179996	Point 6	30,70	24,00	1,73	29,10	49,60	30,20	32,10
-61.1016805	14.6181425	Point 7	39,20	26,50	1,29	32,20	43,30	34,30	36,40
-61.1019487	14.6181892	Point 8	35,50	26,60	1,60	30,30	44,00	33,20	37,30
-61.1021794	14.6183358	Point 9	36,30	25,60	0,69	32,50	45,10	33,60	37,00
-61.1024951	14.6183416	Point 10	35,50	27,50	1,85	32,90	40,20	36,70	37,90
-61.1027687	14.6186256	Point 11	37,50	26,70	0,55	34,90	38,20	35,20	39,90
-61.1031616	14.6187949	Point 12	37,00	27,30	0,98	34,90	37,10	36,40	39,70
-61.1035305	14.6185548	Point 13	32,40	25,50	1,52	29,90	39,40	31,50	32,90
-61.1037814	14.6187521	Point 14	35,10	26,60	0,56	32,30	36,50	34,50	43,00
-61.104057	14.6190004	Point 15	35,00	25,80	1,10	35,60	35,40	35,70	41,30
-61.1044983	14.6192795	Point 16	36,00	26,30	0,40	36,10	34,60	36,30	40,70
-61.1039235	14.618409	Point 17	35,00	25,60	0,41	35,80	36,00	35,70	39,00
-61.103731	14.61794	Point 18	40,00	28,00	0,63	34,20	37,30	36,00	39,20
-61.1034918	14.6174375	Point 19	34,60	25,00	1,61	30,80	40,40	34,30	35,10
-61.1035682	14.6169884	Point 20	35,00	26,80	0,68	31,60	39,70	35,70	36,60
-61.1031533	14.6169006	Point 21	33,20	25,30	0,92	32,40	46,60	30,80	35,30
-61.103671	14.6167977	Point 22	36,00	26,60	1,17	30,20	40,10	37,90	36,50
-61.1041564	14.616494	Point 23	29,40	24,10	4,88	30,20	45,30	31,60	34,70
-61.1034403	14.6160502	Point 24	31,20	24,40	2,49	29,10	44,50	32,70	33,90
-61.1039049	14.6161791	Point 24A	30,00	23,70	2,65	29,01	48,90	29,50	31,60
-61.1031855	14.616398	Point 25	32,00	24,60	2,91	29,40	40,20	34,10	37,10
-61.103156	14.6166835	Point 26	34,20	25,20	1,79	31,60	38,70	35,40	38,80
-61.1027426	14.616638	Point 27	35,30	25,60	0,97	33,00	44,30	32,50	36,20
-61.1024073	14.616817	Point 28	36,00	26,80	1,22	31,40	43,80	33,40	36,60
-61.1025361	14.6171232	Point 29	33,30	25,00	1,91	32,00	46,50	32,10	37,30
-61.1028565	14.6174339	Point 30	36,00	26,70	1,19	32,20	38,70	35,90	39,00
-61.1030537	14.6176246	Point 31	34,50	26,50	1,45	32,90	43,10	34,20	39,30
-61.1032414	14.617876	Point 32	35,00	27,00	0,34	33,50	40,00	35,20	40,60
-61.1033194	14.6182666	Point 33	33,80	25,20	3,08	32,70	41,60	34,10	40,10
-61.1029922	14.6182264	Point 34	34,20	25,40	1,35	31,80	41,60	33,10	38,40
-61.1026918	14.6180616	Point 35	41,00	29,00	2,66	33,30	40,60	36,30	37,60
-61.102327	14.6178838	Point 36	37,40	27,50	1,10	33,20	35,50	38,90	40,80
-61.1027018	14.6178253	Point 37	34,00	25,40	0,71	32,10	40,40	34,90	37,90
-61.1025543	14.6175502	Point 38	35,30	27,20	0,95	32,10	42,40	34,50	38,10
-61.1023209	14.6172414	Point 39	33,30	25,50	1,47	31,40	44,40	33,30	38,00
-61.1020017	14.6173711	Point 40	31,20	24,30	0,43	30,20	49,00	30,80	33,50
-61.1016128	14.6173218	Point 41	35,30	26,70	1,35	29,70	46,00	36,20	38,20
-61.1011058	14.6174101	Point 42	33,50	25,40	1,55	30,40	43,30	34,40	36,80
-61.1008922	14.6173599	Point 43	34,80	26,70	1,67	32,10	45,10	32,80	37,00

Collecte de données climatiques Moyenne

Lieu :	Anse madame Schoelcher				**Date :** 19 et 20 février 2023			**Heure :**	12:00 - 14:30	
Latitude	Longitude	Nom	Indice de Chaleur (HI)	WGBT	Vitesse de l'air m/s	Température de l'air °C	Humidité %	Température ambiente °C	Température Rayonnante °C	UTCI
-61.100943	14.6175378	Point 1	31,75	25,5	1,875	30,6	46,7	32,3	33,6	31
-61.1011455	14.6176078	Point 2	34,9	26,5	1,395	31,6	43,35	33,9	35	32,4
-61.1015599	14.6175975	Point 3	37,7	27,3	1,995	32,65	43,95	33,95	36,65	33,4
-61.1014418	14.617966	Point 4	34,45	26,1	1,93	32,4	46,5	32,7	35,95	33,2
-61.1019438	14.6177418	Point 5	37,6	27,4	0,58	31,6	42	35,25	35,45	32,6
-61.1017831	14.6179996	Point 6	32	25,25	1,99	30,5	48,25	31,05	33,45	30,8
-61.1016805	14.6181425	Point 7	37,9	26,75	1,105	32,45	42,55	34,65	36,9	33,7
-61.1019487	14.6181892	Point 8	35,9	26,2	1,485	31,1	44,65	32,85	37,35	32,5
-61.1021794	14.6183358	Point 9	34,8	25,55	2,05	31,1	41,95	34,25	36,15	31,6
-61.1024951	14.6183416	Point 10	33,25	26	2,745	31,4	40,3	35,2	37,35	31,4
-61.1027687	14.6186256	Point 11	35,25	26	1,535	32,75	38,4	35,05	37,65	33,6
-61.1031616	14.6187949	Point 12	36,5	27,3	1,04	33,35	37,45	36,35	38,25	34,5
-61.1035305	14.6185548	Point 13	33,6	25,75	1,11	30,85	41,1	31,8	34,95	31,6
-61.1037814	14.6187521	Point 14	34,15	26,05	0,765	32,2	39,1	32,95	39,3	33,9
-61.104057	14.6190004	Point 15	33,5	25,4	1,71	34,2	38,05	34,4	38,75	35,2
-61.1044983	14.6192795	Point 16	36	26,55	0,71	35,1	34,95	36,25	40,25	36,4
-61.1039235	14.618409	Point 17	34,6	25,95	0,48	35	37,6	35,1	38,95	36,2
-61.103731	14.61794	Point 18	37,5	27,4	0,755	33,85	38,5	35,1	39,4	35,4
-61.1034918	14.6174375	Point 19	35	25,75	1,535	32,05	38,2	35,55	36,95	32,8
-61.1035682	14.6169884	Point 20	34,85	26,75	1,41	31,2	38,1	36	36,9	32,1
-61.1031533	14.6169006	Point 21	34,45	25,65	1,455	31,2	43,15	32,55	35,4	32
-61.103671	14.6167977	Point 22	34,5	26,4	1,655	30,4	38,8	36,85	36,55	31,1
-61.1041564	14.616494	Point 23	32,2	25,2	4,005	30,21	43,95	32,1	35,85	29
-61.1034403	14.6160502	Point 24	31,35	24,45	1,835	29,15	44,4	32,4	33,4	29,4
-61.1039049	14.6161791	Point 24A	31,35	24,35	2,23	29,955	45	31	33,55	29,9
-61.1031855	14.616398	Point 25	32,75	24,9	2,22	30,9	41,85	33,05	36,15	31,9
-61.103156	14.6166835	Point 26	34,6	25,8	1,185	32,1	41,45	33,55	36,9	33,2
-61.1027426	14.616638	Point 27	36,65	26,3	1,055	32,5	41,65	34,15	37,35	33,8
-61.1024073	14.616817	Point 28	35,5	26,65	1,03	31,7	42,65	34,4	37,65	33,2
-61.1025361	14.6171232	Point 29	34,3	26	1,725	32,65	43,55	33,7	38,5	34
-61.1028565	14.6174339	Point 30	37,6	26,95	0,85	33,25	38,25	36,5	39,5	34,8
-61.1030537	14.6176246	Point 31	34,75	26,15	1,525	33,1	42,9	33,7	39,55	34,8
-61.1032414	14.617876	Point 32	33,5	25,75	1,315	32,75	41,75	33,6	38,4	34,2
-61.1033194	14.6182666	Point 33	33,1	25,1	2,955	31,8	41,05	33,95	38,85	32,1
-61.1029922	14.6182264	Point 34	34,1	25,05	1,205	32,2	42,2	33,05	38	33,7
-61.1026918	14.6180616	Point 35	38	27,65	2,815	31,85	41,2	34,6	36,9	31,8
-61.102327	14.6178838	Point 36	37,6	27,5	1,49	33	37,75	36,55	39,75	34,4
-61.1027018	14.6178253	Point 37	34,75	25,6	0,675	32,6	40,55	34,35	37,65	33,9
-61.1025543	14.6175502	Point 38	34,3	26,3	1,07	32,35	42,5	33,95	38,5	34
-61.1023209	14.6172414	Point 39	34,65	25,4	1,385	31,55	42,65	34,1	37,55	32,9
-61.1020017	14.6173711	Point 40	33,1	25,35	0,96	30,95	44	33,35	35,85	32,2
-61.1016128	14.6173218	Point 41	35,85	26,55	1,625	30,7	41,2	37,2	39,15	32,3
-61.1011058	14.6174101	Point 42	33,25	25,35	1,28	31	41,65	34,6	37,2	32,3
-61.1008922	14.6173599	Point 43	33,15	25,55	2,72	31,55	43,5	33,1	37,25	31,8
MOYENNE			34,7	26,0	1,6	31,9	41,6	34,1	37,2	32,9