



HAL
open science

Recherches et perspectives sur la mise en oeuvre de la désimperméabilisation à Guangzhou dans le cadre d'une coopération sino-française (financement : ambassade de France à Pékin)

Shuqi Liu

► **To cite this version:**

Shuqi Liu. Recherches et perspectives sur la mise en oeuvre de la désimperméabilisation à Guangzhou dans le cadre d'une coopération sino-française (financement : ambassade de France à Pékin). Architecture, aménagement de l'espace. 2022. dumas-03782239

HAL Id: dumas-03782239

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03782239>

Submitted on 21 Sep 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Strasbourg,
école d'architecture

MASTER *VILLE ET ENVIRONNEMENTS URBAINS*

SPÉCIALITÉ *ARCHITECTURE, AMBIANCES, URBANITÉS*

Année 2021/2022

Thèse de Master VEU

**Diplôme co-habilité :
École Centrale de Nantes
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes**

Présentée et soutenue par :

SHUQI LIU

Le 30.08.2022

à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes

TITRE

**RECHERCHES ET PERSPECTIVES SUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA DÉSIMPERMÉABILISATION À
GUANGZHOU DANS LE CADRE D'UNE COOPÉRATION SINO-FRANÇAISE
(FINANCEMENT : AMBASSADE DE FRANCE À PEKIN)**

JURY

Président :

Fonction :

Examineurs :

Fonction :

Directeur de mémoire :

Laboratoire/Institution :

Co-encadrant :

Résumé

Avec le développement rapide de l'urbanisation en Chine, les villes s'étendent et la densité des constructions augmente. Ce qui entraîne le remplacement des surfaces naturelles par des revêtements imperméables en béton, en asphalte ou en ciment. La modification du sol et du sous-sol urbain causent de nombreux problèmes pour l'environnement humain et naturel: la forte diminution des espaces verts, la perte d'habitats naturels, le changement du micro-climat et l'aggravation de l'effet d'îlot de chaleur, inondations catastrophiques, etc. En est affectée l'habitabilité en ville. Un développement urbain plus durable est devenu une préoccupation importante lors de la planification à grande échelle. Avec le soutien de l'ambassade de France à Pékin, l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg (ENSAS) et l'Université Technologique du Sud de la Chine (SCUT) travaillent activement sur le projet CoMix 2021-2022 : "Nature For City". Dans ce cadre, l'étude spécifique sur la désimperméabilisation a proposé d'étudier l'extension des surfaces imperméables par des outils de gestion des eaux pluviales et des mesures de restauration des sols à Strasbourg et à Canton.

Mots-clés : Surfaces Imperméables, La Désimperméabilisation, Les Villes-Éponges, Effet d'îlot de Chaleur Urbain, La Gestion des Eaux Pluviales.

Abstract

With the rapid development of urbanization, urban boundaries are expanding outward and building density is increasing inward, which leads to the natural soil surfaces are replaced by those impermeable concrete, asphalt and cement pavements. Change of the urban underlying surface has caused a series of problems for the human and natural environment: sharp decrease of green spaces, disappearance of habitats, change of the micro-climate, aggravation of the urban heat island effect, frequent rains and catastrophic floods, etc. It has seriously affected the livability and sustainable development of cities and has gradually become a focus of urban planning and development. With the joint support of the French and Chinese embassies, l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg and the South China University of Technology are actively cooperating on the project < CoMix 2021-2022: "Nature For City">. In this framework, the specific study about desealing has proposed for Chinese and French cities, in order to control, mitigate and compensate for the expansion of impervious surfaces by stormwater management tools and soil restoration measures.

Keywords: Impervious Surfaces, Desealing, Sponge Cities, Urban Heat Island Effect, Stormwater Management.

Discipline: Sciences de l'Environnement

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier l'ENSAS pour l'opportunité de stage qui m'a permis de collaborer et d'apprendre avec mes collègues et professeurs. Je voudrais remercier tout particulièrement mon maître de stage, Pr. Emmanuel DUFRASNES, pour m'avoir guidé à comprendre le sujet de la désimperméabilisation, ainsi que pour son aide généreuse tant au niveau de la communication en français que du contenu de mes recherches. Merci également aux collègues de l'ENSAS, de l'OTEIS, du BRGM ou du SCUT : Mme Lise LANÇON, Mme Cécile LE GUERN, Pr. Wu Juan-yu et mes autres collègues stagiaires, Bhuvanesh CLEMENCEAU, Fabien PREZEAU. Je tiens également à remercier le Pr. He Guo-jin et Mme Liu Feng-mei du Centre d'études Géologiques de Wuhan de la Commission Géologique Chinoise pour leur aide active pendant la collecte des données. J'ai beaucoup profité de ces échanges positifs.

Table des matières

Résumé	2
Abstract	2
Remerciements	2
Glossaire	5
Introduction	6
1. Dilemme actuel de l'imperméabilité	6
2. Description du projet CoMix 2021-2022 : "Nature For City"	10
3. Objectifs du stage	10
I. État de la recherche sur les surfaces imperméables	11
1. Contexte et concept des surfaces imperméables	11
2. La désimperméabilisation, ville éponge et les autre leviers	12
I.2.A En France: La désimperméabilisation	12
I.2.B En Chine: La ville éponge	13
I.2.C Les autres gestions au niveau international: LID, BMP, GI	14
II. La méthodologie appliquée à la désimperméabilisation	15
1. Contexte et introduction de la méthodologie utilisée par Narbonne	15
2. Inclusion des tâches de désimperméabilisation dans les documents de planification urbaine à Narbonne	15
3. Méthodologie et pratique basées sur l'élaboration des dispositions	17
III. Collecte de données et préparation de la cartographie	20
1. Données nécessaires pour la recherche	20
2. Les logiciels utilisés et les descriptions des données (Nouvelle section).....	22
3. Les limites des données et les notes supplémentaires	25
IV. Analyse des résultats de la cartographie	26
1. Processus et résultats de la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur	26
2. Cartes géo-hydrologiques de Guangzhou.....	32
3. Cartographie de la surface imperméable et les autres résultats connexes	42
V. La sélection de sites à Guangzhou pour la désimperméabilisation	46
1. Les critères de sélection de sites à Guangzhou	46
2. Introduction pour les sites choisis	49
V.2.A. Jiahui Plaza.....	49
V.2.B. Un quartier commercial industriel du design technologique.....	50

V.2.C. La cité MaHui d'ameublement de la maison	51
VI. Solutions fondées sur la nature et mesures potentielles pour la désimperméabilisation	53
1. Solutions résumées par les Solutions Fondées sur la Nature et autres idées similaires	54
VI.1.A. Pavage perméable	54
VI.1.B. Noues, jardin de pluie et bassins de biorétention	57
VI.1.C. Parking écologique	60
2. Recommandations pour la mise en œuvre de la désimperméabilisation à Guangzhou.....	61
VI.2.A. Jiahui Plaza	61
VI.2.B. Un quartier commercial industriel du design technologique	65
VI.2.C. La cité MaHui d'ameublement de la maison.....	65
3. Exemples typiques de la désimperméabilisation en Chine, en France et au niveau international.....	69
VI.3.A. Chine, Xiamen : Projet pilote de ville spongieuse dans la zone résidentielle de Yangtang.....	69
VI.2.B. France, Bagneux : Renouveau urbain du quartier Victor Hugo	71
VI.3.C. Singapour : Système d'eau ABC	72
VII. Conclusion	74
1. Importance de la désimperméabilisation pour le développement des villes chinoises.....	74
2. État actuel de la recherche en Chine.....	75
3. Résumé de la recherche, limites et pistes d'amélioration.....	76
Bibliographie	77
Web et Actualités	77
Réglementation	79
Bibliographie	80
Annexes	83
Annexes 1 : Sources des données collectées.....	83
Annexes 2 : Autres résultats de cartographie.....	84

Glossaire

Plan ABC: Active, Beautiful and Clean Plan

BMP: Best Management Practices

CEREMA: Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CU: Code de l'Urbanisme

DDTM: La Direction Départementale des Territoires et de la Mer

DOO: Document d'Orientation et d'Objectifs

EISA: Energy Independence and Security Act

EPA: U.S. Environmental Protection Agency

ICU: L'îlot de Chaleur Urbain

GI: Green Infrastructure

ISC: Impervious Surface Coverage / Couverture des surfaces imperméables

LID: Low-Impact Development

NbS: Nature based Solutions

PADD: Projet d'Aménagement et de Développement Durables

PLU(i): Plan Local de l'Urbanisme (intercommunal)

RMSE: Root Mean Square Error

SCoT: Schéma de Cohérence Territoriale

SDAGE: Schéma Directeur de l'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIG: Systèmes d'Information Géographique (GIS: Geographic Information System)

ZCE: Zones de Critères Environnementaux

ZPI: Zones Potentiellement Infiltrables

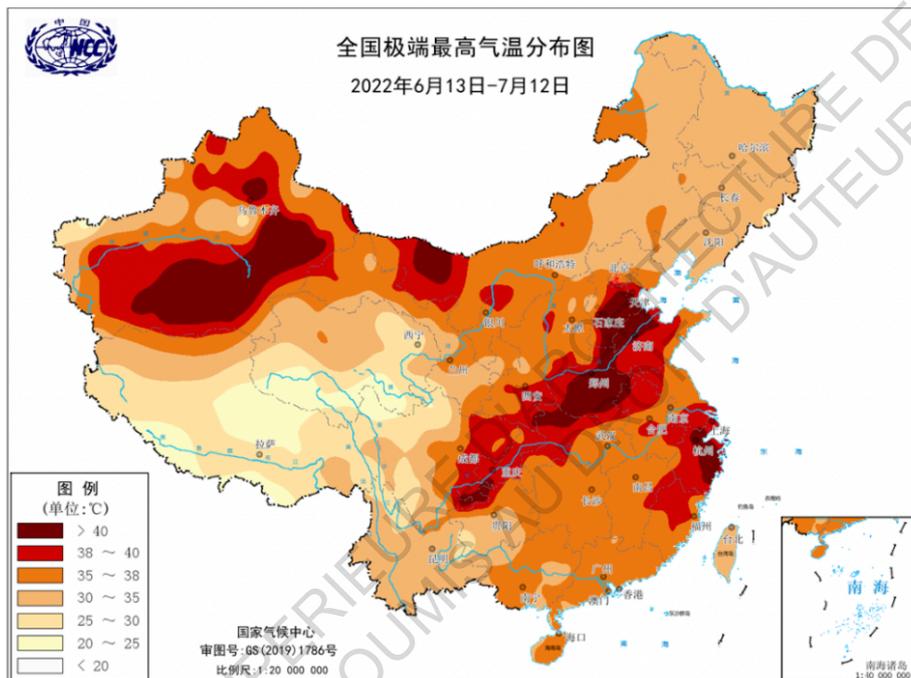
Document N°75: <Le Guide sur la Promotion de la Construction de Villes Éponge> publié par le Conseil d'Etat de la Chine

Introduction

1. Dilemme actuel de l'imperméabilité

Au cours des trois décennies de Réforme et d'Ouverture de la Chine, l'urbanisation s'est développée avec une vitesse très fulgurante et, avec elle, l'étalement urbain et l'expansion des surfaces imperméables ont eu lieu. Les conséquences de cette démarche sont apparues progressivement au fil des décennies et se manifestent aujourd'hui.

À l'heure où nous écrivons ces lignes, le pays est confronté à un sérieux problème de canicule. Selon les données du Centre climatique national et de la Station météorologique centrale, les épisodes de chaleur ont été fréquents depuis le début de l'été. Ils étaient plus généralisés, influents et durables.



D'après l'interview d'un ingénieur du Bureau central de la météo rapportée par le People's Daily Online (FU, 2022), "le 12 juillet, l'évènement de chaleur en Chine avait duré 30 jours, couvrant 5,021 millions de kilomètres carrés de terres et une population de plus de 900 millions d'habitants."

Entre-temps, ce n'est pas seulement la chaleur qui a fait rage pendant l'été, mais aussi les inondations. Au même moment, Guangdong a lancé une alarme d'inondation de plus haut niveau, avec (Song-ren, 2022) 99 rivières dans les cours moyen et inférieur de la rivière Ouest dans le bassin de la rivière des Perles ont été inondées au-delà du niveau d'alerte, dépassant le seuil d'avertissement de 9,95 m. (Song-ren, 2022) Le nombre de personnes touchées par cet événement a atteint 470 000, avec des estimations préliminaires de pertes économiques s'élevant à 1,756 milliard de RMB (environ 275 millions de dollars).

Pour les ceintures urbaines réparties le long des deux bassins fluviaux (Yangtze et Fleuve Jaune) et les agglomérations urbaines côtières, les fortes précipitations sont monnaie courante pendant les mois d'été et se produisent presque chaque année. Cependant, au fil du temps, il est clair que les inondations et les vagues de chaleur s'intensifient - en termes de fréquence, d'intensité et de portée.



Figure 2 : Image aérienne d'inondations pour la région de Rong'an, Guangxi, dans le sud de la Chine, suite à de fortes pluies le 13 juin 2022 (Photo : AFP - STR)

Le Centre climatique national a étudié les conditions météorologiques du pays sur des décennies, voire des centaines d'années, et a publié en 2021 un Livre Bleu sur les changements climatiques en Chine. (Blue Book on Climate Change in China, National Climate Center, 2021). Tant en termes de température que de précipitations, la Chine reste une région significativement affectée par le changement climatique, avec un taux de réchauffement supérieur à la valeur moyenne mondiale pendant la même période. Selon les données de température de surface entre 1961 et 2020, les 20 dernières années peuvent être considérées comme la période la plus chaude du siècle en Chine.

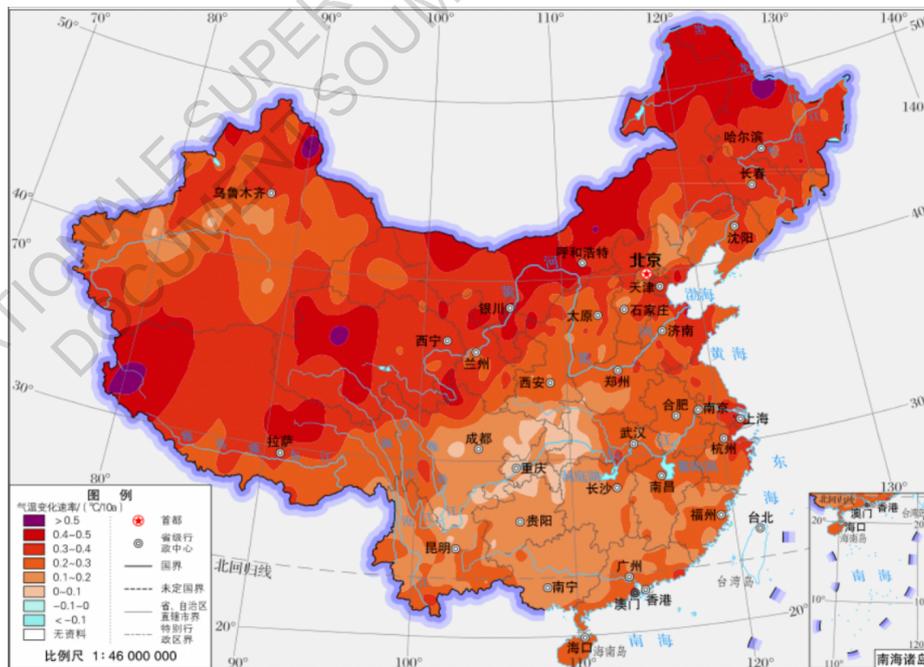


Figure 3 : Distribution des taux de changement de la température moyenne annuelle de surface en Chine de 1961 à 2020 (Blue Book on Climate Change in China, National Climate Center, 2021)

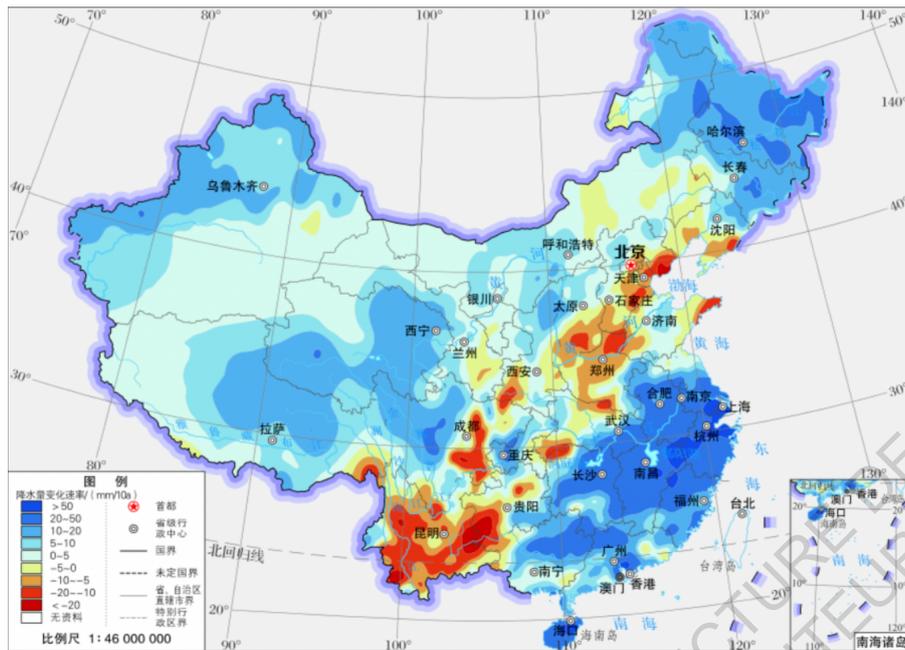


Figure 4 : Distribution des taux de changement des précipitations annuelles en Chine de 1961 à 2020
(Blue Book on Climat Change in China, National Climate Center, 2021)

Les précipitations annuelles moyennes ont tendance à augmenter et à se répartir plus inégalement entre les régions. En outre, des phénomènes extrêmes tels que la canicule et les inondations sont plus fréquent. Comme mentionné ci-dessus, ces phénomènes météorologiques extrêmes accroissent en fréquence, en intensité et en portée, et le niveau de risque pour le climat de la Chine a tendance à s'aggraver.

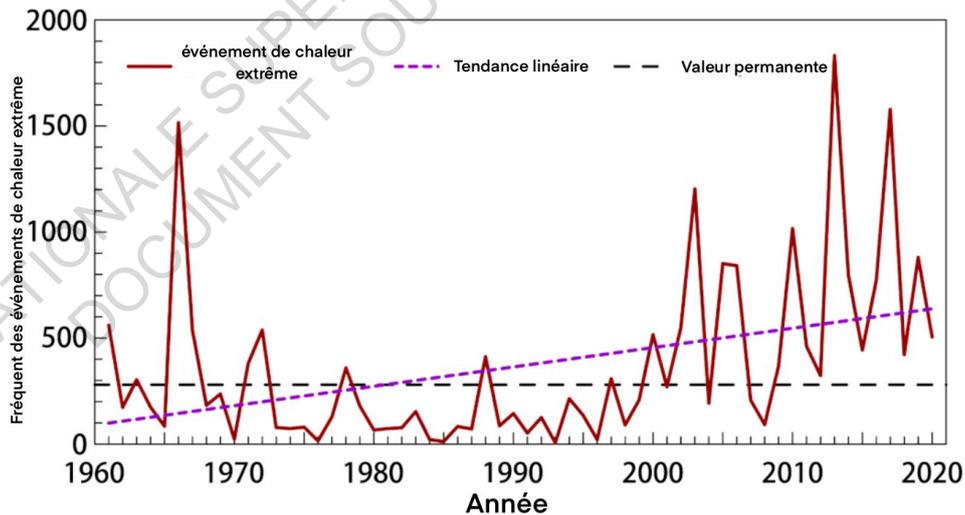


Figure 5 : Fréquence des événements de chaleur extrême en Chine de 1961 à 2020
(Blue Book on Climat Change in China, National Climate Center, 2021)

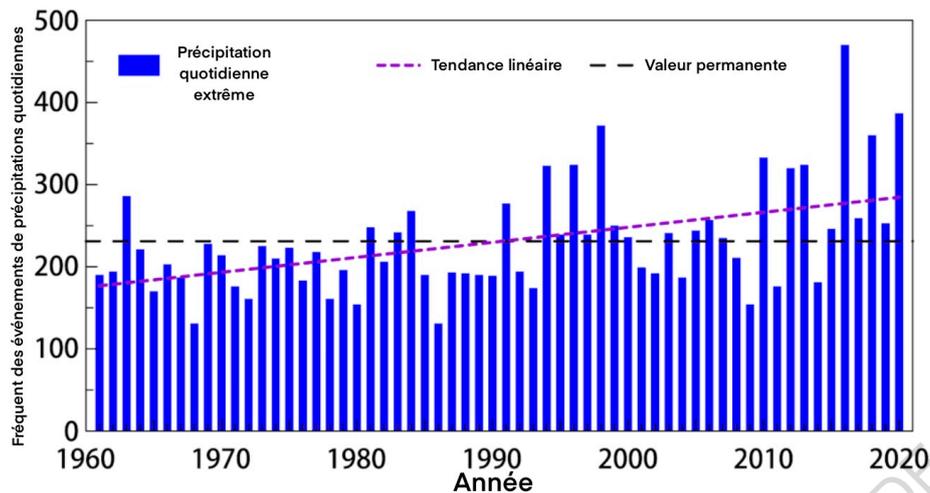


Figure 6 : Fréquence des événements extrêmes de précipitations quotidiennes en Chine de 1961 à 2020 (Blue Book on Climat Change in China, National Climate Center, 2021)

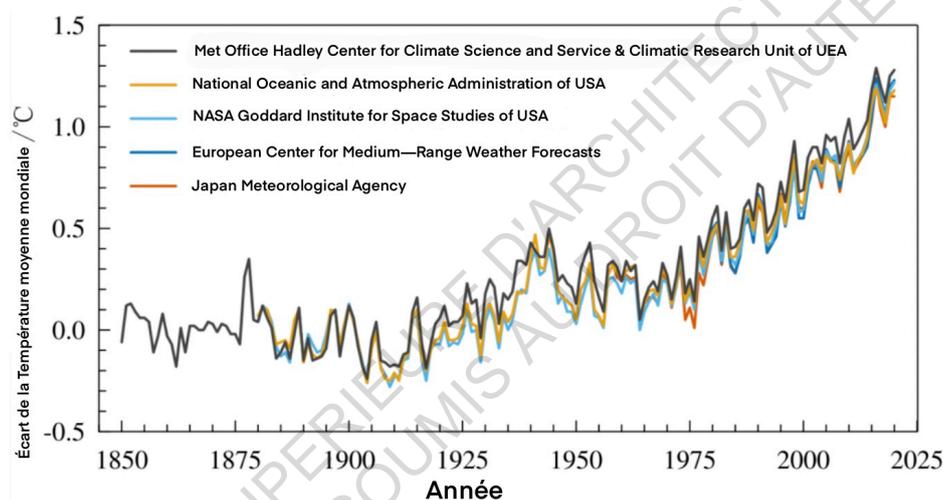


Figure 7 : Ecart de la température moyenne mondiale entre 1850 et 2020 (par rapport à la moyenne 1850-1900) (Blue Book on Climat Change in China, National Climate Center, 2021)

Le réchauffement de la planète est une tendance générale et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes est évidente dans le monde entier. Ce changement climatique n'est pas non plus spécifique à la Chine, mais une difficulté et un problème que le monde doit surmonter ensemble. Bien que le changement climatique soit un résultat complexe de l'interaction de multiples facteurs, comme la canicule et les inondations survenues en Chine cette année, et même dans le monde entier, il s'explique géographiquement comme un phénomène: La Niña, avec le développement et le renforcement de la zone chaude de haute pression des latitudes moyennes en juillet a entraîné une vague de chaleur généralisée dans tout le pays.

Cependant, La Niña et El Niño sont par nature des phénomènes réguliers qui se répètent dans un certain cycle. Comme le montrent les données ci-dessus, ces phénomènes s'intensifient. Dans ce contexte, nous devons prendre en compte le rôle des surfaces imperméables qui contribuent à ce problème.(XU Han-qiu, 2009). En prenant la zone bâtie de Fuzhou comme objet principal, une analyse de régression a été effectuée sur la surface imperméable, la végétation, les plans d'eau et la température de surface afin d'étudier le degré de corrélation entre les trois. Il a été conclu que les trois ont passé le test de signification de 1 %. Cela indique qu'ils sont tous des facteurs importants affectant l'augmentation de la température de surface, parmi lesquels la surface imperméable est le plus coupable de l'augmentation de la température de surface. S'ils sont remplacés par de la végétation ou des plans d'eau, ils peuvent avoir un effet rafraîchissant et atténuer efficacement l'effet d'îlot de chaleur urbain.

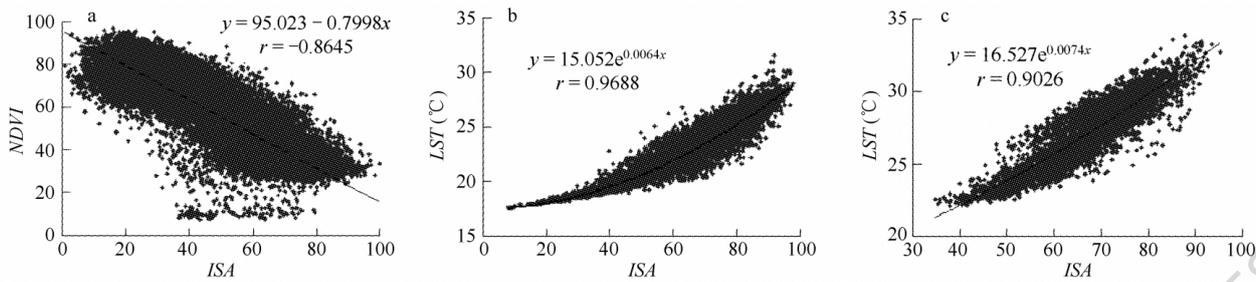


Figure 8 : Relation entre la surface imperméable (ISA) et la végétation (a) et la température de surface (b : Fuzhou, c : Xiamen) (XU Han-qi, 2009)

Face à tous ces problèmes et à la tendance croissante du changement climatique, la transformation est imminente. Depuis les années 1980 et 1990, de nouveaux concepts de développement (LID, BMP, etc) ont été mis en avant pour limiter l'impact négatif des surfaces imperméables sur l'environnement écologique et l'habitat humain. The International Union for Conservation of Nature (IUCN) a proposé des solutions basées sur la nature (NbS). Nous verrons plus loin des initiatives de désimperméabilisation en France et la construction des villes éponges en Chine.

2. Description du projet CoMix 2021-2022 : "Nature For City"

Dans ce contexte, l'Ambassade de France à Pékin, en soutien à la recherche conjointe bilatérale (Thématiques Prioritaires CoMix 2021-2022), a lancé le projet de désimperméabilisation en 2018, établissant un partenariat entre l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg et l'Université de Technologie de Chine du Sud, dans l'espoir d'approfondir continuellement leur collaboration.

En outre, nous sommes en contact étroit avec d'autres organisations et institutions françaises telles que OTEIS, CEREMA, BRGM, etc. Dans nos recherches, nous travaillons ensemble pour explorer la relation entre la nature et la ville, pour atténuer les impacts de l'artificialisation du sol et du changement climatique sur l'écologie et l'habitat, et pour développer de nouvelles orientations pour l'urbain futur.

3. Objectifs du stage

Dans le cadre de la coopération sino-française, des cas typiques et des concepts avancés sur ce sujet au niveau international ont été combinés en se référant aux missions de désimperméabilisation que la France entreprend ou a achevées, comme la méthodologie utilisée à Narbonne par le CEREMA. Nous l'appliquons à Strasbourg et à Guangzhou, avec des adaptations appropriées à la situation locale.

La première étape est la collecte des données, dans laquelle les données requises sont divisées en trois catégories principales - ZPI (Zones Potentiellement Infiltrables), ZCE (Zones de Critères Environnementaux) et d'utilisation du sol - selon la méthodologie appliquée à Narbonne. Sur le support des données, une cartographie et une analyse ont été réalisées à l'aide de logiciels d'information géographique tels que ArcGIS et MapGIS afin d'obtenir des zones potentielles pour la mise en œuvre de la désimperméabilisation.

Des méthodes génériques sur les différents moyens de gestion des eaux pluviales pour ce sujet ont été collectées, résumées et analysées. Les informations sur les différents aspects: leurs difficultés de construction, les occasions d'application, l'entretien courant, la durée de vie et les coûts de construction doivent être clarifiés. Sur la base des zones potentielles de désimperméabilisation identifiées ci-dessus, les recommandations pour la désimperméabilisation seront proposées et adaptées au contexte local.

I. État de la recherche sur les surfaces imperméables

1. Contexte et concept des surfaces imperméables

Avec le développement de l'urbanisation dans différents pays, les surfaces imperméables s'étendent graduellement. Les implications provoquée par ce phénomène deviennent un sujet de préoccupation. Premièrement, la définition de la surface imperméable a été décrite de diverses manières, par exemple, (REN et al. 2012) mentionne que les surfaces imperméables au sens large sont des pavements naturels ou artificiels qui peuvent empêcher l'infiltration des eaux de surface dans le sol et ainsi affecter les profils de ruissellement, de sédimentation et de pollution. Cependant, certains chercheurs ont subdivisé la définition pour qu'elle englobe à la fois le bâtiment et la voirie, comme les structures, les surfaces, les toits de bâtiment, et les revêtements en béton, en asphalte et en ciment, par exemple les voies, les routes et les parkings.

Un concept similaire a été proposé dans le cadre de l'étude des "villes éponges" en Chine, soit la notion de "surface sous-jacente urbaine (Urban Underlying Surface)". (WANG et al. 2009), elle est définie comme la surface de la terre qui interagit avec l'atmosphère au cours de l'échange de chaleur, de substance de mouvement et d'hydraulique, y compris divers éléments naturels ou artificiels tels que le sol, les masses d'eau, la végétation, les bâtiments, etc.

Dans ce document, nous nous concentrerons principalement sur l'étude, l'analyse et la modification des surfaces imperméables artificielles et ne nous étendons pas trop sur la partie naturelle.

Les structures imperméables empêchent l'infiltration naturelle des eaux de pluie et des eaux de surface. Ceci affecte le cycle de l'eau et l'écosystème aquatique, par exemple en augmentant le ruissellement de surface, qui accroît la charge sur le réseau d'eau et induit un risque d'inondation. En même temps, d'après (Novotny et al. 1994) l'augmentation du ruissellement présente un risque de pollution pour la masse d'eau, qui peut causer une détérioration de la qualité de l'eau des rivières en grossissant l'afflux de polluants de surface ou de sédiments. Selon l'indice de couverture des surfaces imperméables (Impervious Surface Coverage, ISC), (Arnold, Gibbons, 1996) explore l'impact des surfaces imperméables sur l'environnement aquatique, affirmant que la qualité de l'eau commence à se détériorer lorsque l'indice de couverture des surfaces imperméables d'un système de bassin versant atteint 10%; s'il atteint 30 %, il se dégrade gravement et peut même ne pas se rétablir.

D'ailleurs, les surfaces imperméables contribuent de manière significative à l'effet d'îlot de chaleur urbain (Oke, 1987). D'une part, les matériaux imperméables tels que le ciment, l'asphalte et le béton remplacent le sol nu et les surfaces naturelles, limitant ainsi l'infiltration et l'évaporation de l'eau ; d'autre part, ces couvertures de terre à faible albédo aboutissent à l'absorption accrue de la chaleur en surface, tandis que le rayonnement absorbé est émis sous forme d'ondes longues, réchauffant la couche limite urbaine et la canopée urbaine, affectant le cycle hydrothermique de l'eau et de la chaleur dans les zones urbaines. Dans de nombreuses études sur les surfaces imperméables et l'effet ICU, il existe une corrélation positive entre les deux (Xu H Q, 2011). Une analyse quantitative de la relation entre les changements de milieu de surface et l'effet d'îlot de chaleur urbain à Fuzhou pendant une période de trente ans à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat a montré que la surface imperméable à Fuzhou a augmenté sensiblement entre 1976 et 2006 (de 64,5 % à 73,4 % dans la principale zone urbaine), et son effet sur la température urbaine se rapprochait ou même dépassait la somme d'influence de l'eau et de la végétation. D'après les résultats d'une analyse de régression multifactorielle des données de 2006, un accroissement de 10% de la végétation et de l'eau a entraîné une diminution combinée de la température de 0,904 °C, mais une augmentation de 10 % de l'indice d'imperméabilité entraînera une augmentation de la température de 0,975 °C.

En outre, l'extension des surfaces imperméables artificielles a dispersé la surface naturelle, fragmenté l'habitat de la flore et de la faune. Elle va à l'encontre de la vision des gens qui réclament la nature et a conduit à une série de conséquences sociales et humaines. Cela a abouti à une série de mesures visant à

atténuer les problèmes d'inondation, d'effet d'îlot de chaleur, de perte de fertilité et de fragmentation des habitats causés par l'imperméabilisation des sols .

2. La désimperméabilisation, ville éponge et les autres leviers

En réponse aux questions proposées ci-dessus, les pays ont réagi par les règlements et les outils législatifs de gestion. Par exemple, le projet de "Ville Éponge" en Chine, "La désimperméabilisation" de la France, le développement à faible impact (Low-Impact Development, LID) aux États-Unis, les meilleures pratiques de gestion (Best Management Practices, BMP) et d'autres mesures pour les systèmes de gestion des eaux pluviales. Dans le cadre de la coopération sino-française, nous nous concentrerons sur les orientations, les approches et les pratiques des deux parties sur ce sujet.

I.2.A En France: La désimperméabilisation

Dans le document du SDAGE Métropole Aix-Marseille-Provence, l'article 5A-04, fait référence à la définition de la désimperméabilisation, qui consiste à remplacer la surface imperméable par une surface désimperméable afin que le sol retrouve, autant que possible, les fonctions et services qu'il avait avant l'aménagement et la construction.

SDAGE Métropole Aix-Marseille-Provence, l'article 5A-04:

“La désimperméabilisation consiste à remplacer des surfaces imperméables par des surfaces plus perméables, en permettant ainsi de rétablir au mieux les fonctions assurées par le sol avant aménagement : capacité d'infiltration, échange sol-atmosphère, stockage de carbone, biodiversité, etc.”

La loi «Climat et Résilience» passée en août 2021, définit les concepts d'artificialisation, d'artificialisation nette et de renaturation des sols, qui sont étroitement liés à la désimperméabilisation. La loi stipule:

- L'artificialisation est définie comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage.
- La renaturation d'un sol, ou désartificialisation, consiste en des actions ou des opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé.
- L'artificialisation nette des sols est définie comme le solde de l'artificialisation et de la renaturation des sols constatées sur un périmètre et sur une période donnée. » (Loi Climat, article 192, 2021)

Ensuite, la France a défini des exigences administratives et des outils de gestion pertinents à différents niveaux (règlement national, communautaire, municipal, à l'échelle locale ou du quartier, etc.). L'article L151-22 du code de l'urbanisme impose un pourcentage minimal de surfaces non imperméables ou écologiquement aménageables.

Code de l'urbanisme, l'article L151-22

“Le règlement peut imposer une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables, éventuellement pondérées en fonction de leur nature, afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville”.

Les documents SDAGE, SAGE et PLU(i) des différentes collectivités apportent des réponses et des exigences diverses, par exemple, dans le guide technique : "Vers la ville perméable" destiné à aider les collectivités locales ayant des capacités d'urbanisme ou de gestion de l'eau à mettre en œuvre le SDAGE 5A-04 sur le terrain. Le guide propose d'inclure l'objectif de "compenser les surfaces imperméables par l'opération de la désimperméabilisation dans les zones urbanisées " dans les documents d'urbanisme, avec un objectif quantitatif de 150 % des deux (Guide technique du SDAGE. Vers la ville perméable. Bassin Rhône-Méditerranée, 2017).

Même à l'échelle d'un quartier, des exigences sont posées pour la désimperméabilisation, comme mentionné dans le cas du quartier Delacroix-Renoir (Quartier Delacroix-Renoir, 2019), la communauté réalisait la désimperméabilisation par la séparation du réseau d'eaux pluviales, le contrôle des eaux pluviales à la source, l'infiltration in situ et une série d'autres mesures.

Le CEREMA a été actif dans l'élaboration et la mise en œuvre de projets d'urbanisme sur ce thème. Le renouvellement urbain du quartier Victor Hugo à Bagneux propose une réintroduction du végétal; la lutte contre les îlots de chaleur, et les mesures de gestion de l'eau par des infrastructures d'infiltration des eaux pluviales (la gestion des eaux pluviales en surface par le biais de noues). Des initiatives similaires sont également mentionnées dans le projet d'aménagement de la rue Garibaldi à Lyon : l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur ; la récupération, l'épuration et la réutilisation des eaux pluviales (nettoyage et arrosage) ; l'infiltration des eaux pluviales par les noues ou les autres installations d'infiltration des eaux pluviales. (CEREMA, Désimperméabilisation et renaturation des sols, 2020).

1.2.B En Chine: La ville éponge

En 2013, lors de la Conférence centrale sur le travail urbain, une série de problèmes liés à l'urbanisation, notamment l'environnement hydrique, ont été présentés. C'était aussi la première fois pour suggérer le concept comme "Donner la priorité à la rétention des eaux de pluie limitées lors de l'amélioration du système de drainage urbain. Donner la priorité à l'utilisation des forces naturelles pour drainer l'eau, et construire des villes éponges avec une accumulation naturelle, une infiltration naturelle et une purification naturelle" (ZHANG, Water Authority of ShenZhen Municipality, 2021). En 2014, le Ministère du Logement et du Développement Urbain et Rural a publié le document pertinent "Directives Techniques pour la Construction de Villes-Éponges" et entre 2013 et 2015, le Conseil d'État Chinois a annoncé "l'Avis du Conseil d'État sur le renforcement de la construction d'infrastructures urbaines" (le Conseil d'État Chinois [2013] n° 36), "la circulaire gouvernementale du Bureau général du Conseil d'État sur la construction d'installations de drainage urbain et de contrôle des inondations" (le Conseil d'État Chinois [2013] n° 23) et "Les Opinions directrices sur la promotion de la construction de villes éponges" (le Conseil d'État Chinois [2015] n° 75), établissant ainsi formellement le déploiement général du développement futur des villes-éponges en Chine.

Dans le document N°75, le Conseil d'État énonce les conditions générales pour la construction des villes éponges, qui se résument à six mots : "infiltration, rétention, stockage, purification, utilisation et émission". En fonction de ces six mots, des mesures correspondantes sont prises pour minimiser l'impact du développement urbain et de l'exploitation sur l'environnement écologique. Des indicateurs quantitatifs sont également fournis, par exemple l'obligation d'absorber et d'utiliser 70 % des précipitations in situ, plus de 20

% de la zone bâtie devant répondre à cet indicateur en 2020 et plus de 80 % de la zone bâtie devant répondre à cet indicateur en 2030 (Document N°75, 2015).

Type	Niveau	Nombre de villes pilotes
Climate	Pluie	2
	Humide	16
	Semi-humide	12
Taille de la ville (La population)	Mega City	3
	Métropole	4
	Ville grande	7
	Ville moyenne	9
	Ville petite	7
L'échelle administrative	Municipalité relevant directement du gouvernement central	4
	Ville sous provinciale	6
	Municipalité de niveau préfectoral	16
	Nouvelles zones au niveau de l'état	2
	Ville de niveau comité	2

Figure 9 : Distribution des 30 villes éponges pilotes en Chine
(ZHANG, Autorité de l'eau de la municipalité de ShenZhen, 2021)

Avec le soutien du ministère central des finances, 30 sites de différents types de climat, tailles de ville et niveaux administratifs ont été sélectionnés pour la construction pilote de villes-éponges à travers le pays, et ce travail est toujours en cours.

Il est facile de constater que certaines des expressions bilatérales sur ce sujet coïncident entre la France et la Chine, comme les références au traitement *in situ* et au recyclage des eaux de pluie, ainsi que certains indicateurs quantitatifs basés sur les réalités des deux côtés.

I.2.C Les autres gestions au niveau international: LID, BMP, GI

Le concept de gestion des eaux pluviales par le développement à faible impact (LID) est apparu aux États-Unis pendant la période des années 1980 et 1990. Il vise à minimiser l'impact du développement urbain sur le paysage écologique en simulant les conditions hydrologiques naturelles locales et en mettant en œuvre des mesures de contrôle à la source des eaux pluviales. En 1999, l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (EPA) a publié un manuel sur la planification, la conception et l'analyse hydrologique des LID, l'utilisant comme un document de référence pour guider la planification et l'édification, et c'est ainsi que la notion a commencé à se répandre aux États-Unis et même dans le monde entier (YANG et al, 2019).

Le Congrès américain a promulgué la loi sur l'indépendance et la sécurité énergétiques (EISA) en 2007, dont la section 438 a indiqué clairement les exigences en matière de gestion intégrée des eaux de ruissellement dans les projets de construction et la manière de mettre en application les techniques liées à LID (EPA, 2009).

En outre, les concepts de meilleures pratiques de gestion (BMP) et d'infrastructure verte (GI) sont étroitement liés, mais différent encore dans certains détails. Par exemple, les idées de BMP sont apparues pour la première fois aux États-Unis dans la loi sur l'eau propre (Clean Water Act) en 1972, principalement en relation avec le traitement des eaux usées ; le concept de gestion des eaux pluviales a été introduit pour la première fois dans la révision de 1987 ; dans les années 1980 et 1990, il a été largement utilisé dans les manuels de planification des villes américaines; et plus tard, avec l'introduction de la notion LID, les districts ont favorisé l'utilisation de techniques de développement à faible impact.

GI a été introduit pour la première fois en 1999 par le groupe de travail sur le GI organisé par l'American Conservation Foundation et le service des forêts du ministère de l'agriculture. Il est défini comme un réseau écologique d'éléments naturels (par exemple, les zones humides, les voies vertes, la végétation, les espaces verts ouverts, les toits verts, les jardins pluviaux, etc.) (WU, FU, 2009).

II. La méthodologie appliquée à la désimperméabilisation

1. Contexte et introduction de la méthodologie utilisée par Narbonne

Dans le cadre de la tâche de désimperméabilisation pour Strasbourg et Canton, nous nous référons à la méthodologie utilisée par Narbonne.

Narbonne, situé dans le sud de la France, est une commune relevant du département de l'Aude dans la région Occitanie. Elle a une superficie totale de 172,96 km² et une population d'environ 55 000 habitants selon les statistiques démographiques 2019 (INSEE, Narbonne, 2022), dans un climat typiquement méditerranéen. Afin de lutter contre les problèmes d'inondation et de sécheresse, et aussi de réintroduire la nature en milieu urbain, le Cerema, en collaboration avec la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) de l'Aude, a lancé une initiative visant à inscrire la désimperméabilisation dans les documents d'urbanisme et à promouvoir des projets de mise en œuvre progressive.

2. Inclusion des tâches de désimperméabilisation dans les documents de planification urbaine à Narbonne

Il a été signalé (Victor Rainaldi, Aude, 2020) qu'il existe un risque important d'inondation à Narbonne, qui peut affecter jusqu'à 37% de la population et qu'on espère pouvoir réduire le risque d'inondation en contrôlant le ruissellement. En effet, on espère protéger les ressources naturelles en rechargeant les nappes phréatiques, réintroduire la nature dans la ville, améliorer l'habitabilité, accroître la biodiversité, etc. La désimperméabilisation est lancée à toutes ces fins et sa pratique et sa réalisation dépendent du soutien des lois et règlements pertinents ainsi que de la responsabilité et de la supervision des autorités compétentes.

L'article 5A-04 du document du SDAGE 2016-2021 du Rhône-Méditerranée définit le concept d'ERC (Éviter, Réduire, Compenser) des impacts des nouvelles surfaces imperméables, c'est-à-dire éviter la création de nouveaux sols imperméables et minimiser les impacts des nouvelles surfaces imperméables, compenser les effets négatifs sur l'environnement en éliminant les surfaces imperméables existantes et en renouvelant le tissu urbain. A ce sujet, le SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 propose un objectif quantitatif pour la compensation : la surface à atteindre par l'opération de désimperméabilisation devrait être de 150% de la surface imperméable nouvellement créée dans la ville, conformément à la décision d'urbanisation ouverte du document de planification.

SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021, l'article 5A-04:

“...la surface cumulée des projets de désimperméabilisation visera à atteindre 150% de la nouvelle surface imperméabilisée suite aux décisions d'ouverture à l'urbanisation prévues dans le document de planification.”

Les dispositions du SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 donnent une orientation à la tâche, mais la désimperméabilisation n'est pas facile à réaliser sur le terrain. Afin de mieux mener les actions stratégiques à l'échelle de la commune de Narbonne, il est nécessaire de prendre en compte les principes et le contenu du SDAGE dans le SCoT, le PLU(i) et autres documents d'urbanisme. Il est souhaité en outre qu'une évaluation

des zones potentielles de désimperméabilisation soit atteinte avec l'appui du SCoT: surface, localisation, type d'occupation du sol, propriétés du sol, propriété foncière, etc.

Le SCoT a défini des Projets d'Aménagement et de Développement Durables (PADD) du territoire et a réalisé différentes analyses à cet effet, comme le plan d'occupation des sols de Narbonne en 2015, avec 11% de surfaces artificialisées, publié dans le rapport sur la consommation foncière publié le 10 février 2022. Afin de proposer des objectifs quantitatifs de maîtrise de la consommation foncière, une analyse de la consommation foncière pendant la période des années 2003-2015 et 2009-2018 a été effectuée, et des enjeux ont été soulevés, auxquels il est souhaité de répondre par le biais d'un Document d'Orientation et d'Objectifs (DOO) : la réduction des surfaces agricoles, la croissance des surfaces artificialisées, la vulnérabilité des surfaces naturelles, etc. Dans le document DOO, le SCoT estime et fixe un objectif de consommation maximale de l'espace pour les 20 prochaines années, pour faire face à l'étalement urbain et au mitage de l'espace tout en prenant en compte les besoins du développement urbain. En même temps, cette limite de la consommation de terre est conforme à l'objectif de "Zéro Artificialisation Nette" en 2040. Sur cette base, le besoin de compenser la désimperméabilisation peut être calculé à partir des données d'extension du territoire et de la demande identifiée dans le SCoT.

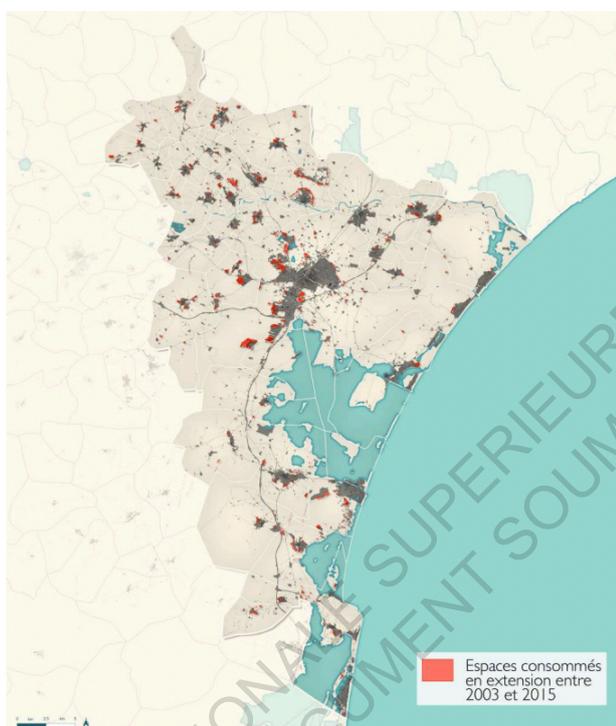


Figure 10 : Consommation de terres à Narbonne en 2003-2015 (SCoT de la Narbonnaise, 2022)

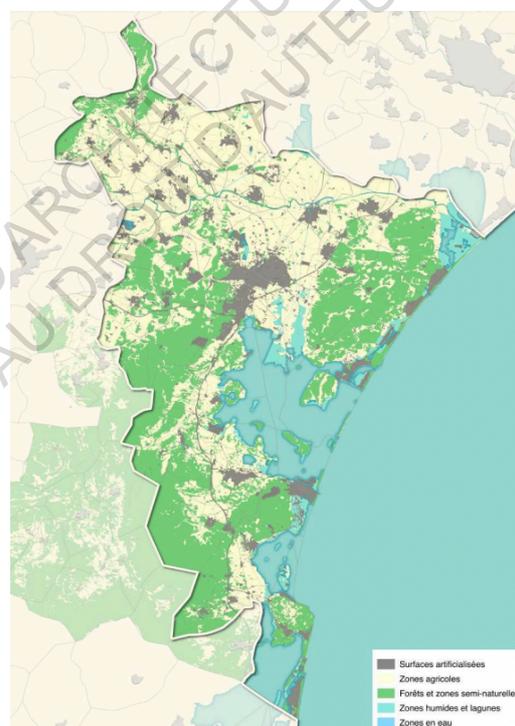


Figure 11 : Occupation du sol à Narbonne en 2015 (SCoT de la Narbonnaise, 2022)

Par ailleurs, en complément de ce qui est contenu dans le SCoT, l'action souligne le rôle des règles d'urbanisme et favorise la nécessaire intégration entre le SCoT, le PLU et le permis d'aménager.

De cette façon, le contenu des dispositions est mis en pratique sur le terrain par le biais d'une structure hiérarchique.

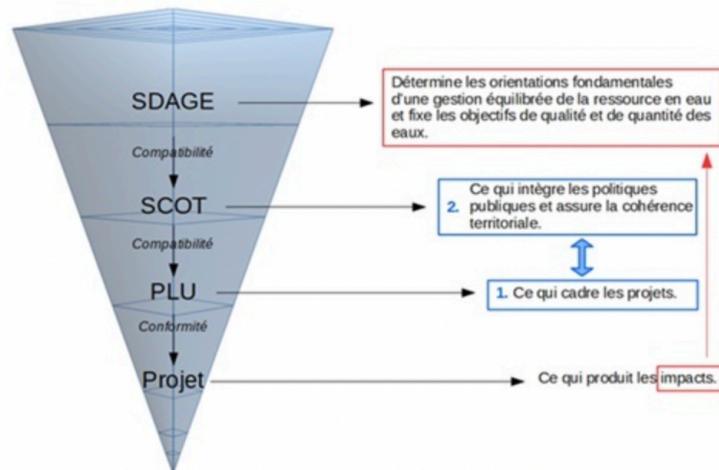


Figure 12: La pyramide de compatibilité des documents de planification de l'urbanisme (CEREMA, Comment intégrer la désimperméabilisation des sols sur son territoire? L'exemple du Grand Narbonne, 2019)

3. Méthodologie et pratique basées sur l'élaboration des dispositions

Le Cerema donne un processus en six étapes pour la désimperméabilisation (CEREMA, Des solutions pour la désimperméabilisation des sols du Grand Narbonne, 2019), sur la base des besoins énoncés par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer d'Aude.

- Les deux premières phases se sont concentrées sur une visite d'enquête dans la communauté pour comprendre les caractéristiques locales telles que les projets existants, les perspectives de développement futur, etc., pour définir le contexte de l'étude, et pour écouter les expériences et le retour d'information des autorités locales.
- Dans un troisième temps, le calcul de la surface de compensation et la finalisation des zones potentielles pour la désimperméabilisation, le recensement de ces zones et la réalisation de travaux cartographiques sur celles-ci.
- Ensuite, comprendre la nature fondamentale de la zone, par exemple, la dureté du sol, les caractéristiques physiques et géologiques du sol (perméabilité, structure, texture, végétation, etc.), le type et la classe administrative de terrain. En combinaison avec ces résultats, nous avons tendance à sélectionner des zones avec une forte imperméabilité et peu de contraintes géographiques.
- La cinquième étape, basée sur les zones potentielles identifiées de la désimperméabilisation et leurs contraintes, propose toutes les solutions possibles, de ce qu'implique la désimperméabilisation à la manière de séparer l'eau de la parcelle.
- L'étape finale, le développement d'outils pour la désimperméabilisation en combinant les éléments et résultats ci-dessus.

Après avoir défini les objectifs de la compensation, la première priorité a été d'identifier les zones les plus appropriées pour faire la désimperméabilisation dans les limites de la ville. Les données du sous-sol, des données pédologiques, des types d'occupation du sol, etc. de la région de Narbonne ont ensuite été collectées et analysées pour produire les cartes sur les zones potentielles de désimperméabilisation.

Dans ce processus, les données sont le travail de cartographie divisée en trois axes : ZPI (Zone de Potentiel d'Infiltration des Sols), ZCE (Zone de Critères Environnementaux) et la carte de l'Occupation du Sol (Saulais et al. 2019).

ZPI concerne les caractéristiques physiques et géologiques du terrain et couvre principalement la composante pédologie, qui se réfère spécifiquement aux types de sols tels que sableux, limoneux, argileux, etc. ; et la carte hydrogéologique, qui couvre principalement la perméabilité et l'imperméabilité du sol et la distribution des eaux souterraines ; ZCE vise à observer la distribution spatiale de différents indicateurs environnementaux sur la zone d'étude, notamment la répartition des captages d'eau potable, la répartition des sites et sols pollués, les différents types d'aléas et de risques géologiques, tels que le risque effondrement de carrières et cavité naturelle, le risque des nappes souterraines et remontée de nappes, le risque retrait gonflement des argiles et le risque pente et résurgence, etc. ; la carte d'occupation du sol comprend des cartes des zones actives et de la répartition des surfaces imperméables) (voir le tableau 1).

ZPI (Zones Potentiellement Infiltrables)	ZCE (Zones de Critères Environnementaux)	Occupation du Sol
Pédologiques(sable, limon, argile)	Captage d'eau potable	Surface imperméabilisée
Hydrogéologique(perméabilité, imperméabilité, masses d'eaux souterraines)	Inventaire des sites sols pollués	Zone d'activité(industrielle, économique...)
	Risque effondrement de carrières et cavités naturelles	
	Niveau des nappes souterraines et Risque remontée de nappes	
	Risque retrait gonflement des argiles	
	Risque pente et Risque résurgence	
	Topographie	
	Zone d'inondation / Surface hydrogéologique	

Tableau 1: Les trois axes cartographiques de Narbonne et ce qu'ils recouvrent

Sur cette base, la municipalité de Narbonne dispose d'une cartographie des propriétés d'infiltration du sol, avec les résultats suivants (CEREMA, Webconférence, 2022).

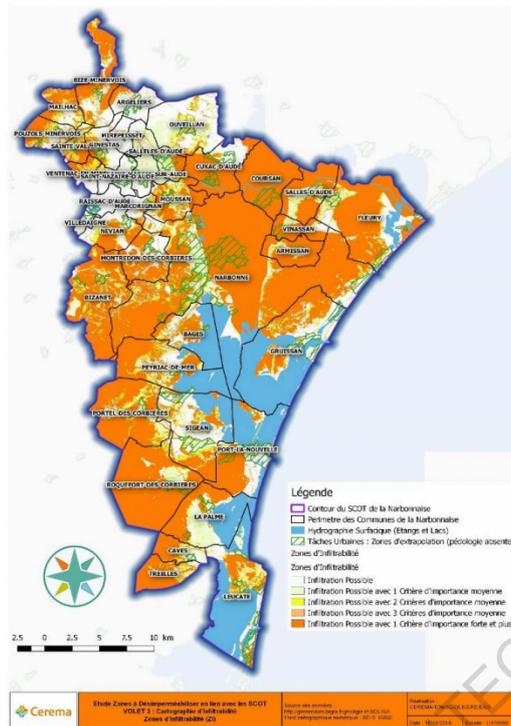


Figure 13: Carte d'infiltrabilité du sol de Narbonne

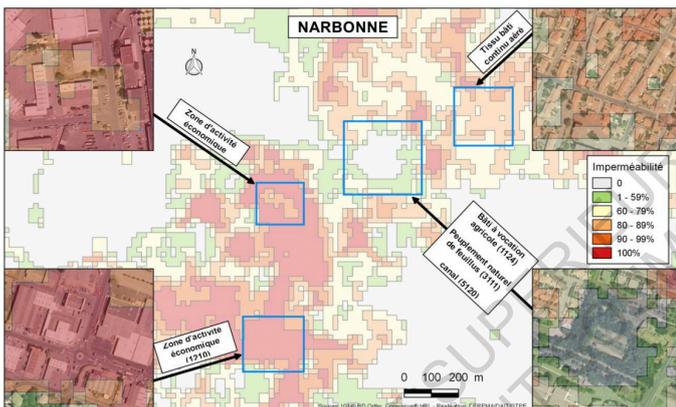


Figure 14: Carte d'imperméabilité du sol de Narbonne

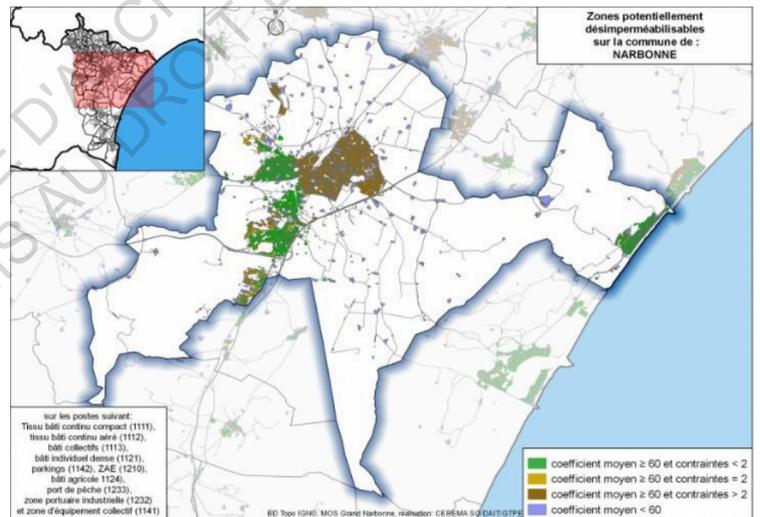


Figure 15: Carte des zones potentielles pour la désimpermeabilisation obtenue par croisement des deux cartes

La première étape est de considérer certains facteurs impliqués dans la capacité d'infiltration du sol : par exemple, la pente, la qualité du sol, l'intensité de la précipitation, etc.). La carte des zones potentielles de désimpermeabilisation peut être obtenue par croisement et superposition de facteurs comme ci-dessus. La carte d'infiltration des sols tient compte principalement des contraintes environnementales, c'est-à-dire l'atlas ZCE mentionné précédemment.

Dans les résultats de la cartographie, comme (Figure 15), les parties vertes sont les zones les plus susceptibles de réaliser la désimpermeabilisation, car il y a moins de contraintes environnementales à prendre en compte, tandis que les zones brunes ont plus de limites environnementales, ce qui signifie qu'elle sera plus difficile à réaliser. Narbonne se concentre sur les zones où les contraintes environnementales sont moindres, c'est à dire qu'il y a moins de contraintes et d'obstacles à la désimpermeabilisation ; parallèlement, Narbonne se focalise sur les zones les plus sombres dans le Figure 14, ce qui implique les zones les plus imperméables,

et en croisant et superposant les deux cartes, Narbonne obtient des zones potentielles où des opérations de désimperméabilisation peuvent être réalisées.

Ils ont aussi quantifié ces zones potentielles afin de faciliter une meilleure prise en compte de la question dans leurs travaux de planification ultérieurs.

Sur la base des données et des résultats cartographiques, Narbonne a déjà commencé à aller de l'avant avec plusieurs projets à petite échelle, comme désimperméabiliser un parking dans le centre-ville, le cours d'une école maternelle et d'autres espaces publics à Narbonne Plage.

DESIMPERMEABILISATION DE COURS D'ÉCOLES

Ecole maternelle Yvan Pélissier de Cuxac d'Aude : avant-pendant-après les travaux



Figure 16 : Projet de désimperméabilisation dans une école maternelle à Narbonne
(Saulais, Penloup, 2021)

III. Collecte de données et préparation de la cartographie

Sur la base de l'expérience et de la méthodologie de Narbonne, nous avons réalisé une étude de désimperméabilisation à Strasbourg et dans une ville chinoise. Ce faisant, nous adapterons la méthodologie aux conditions locales, en tenant compte des points de vue des différentes parties, notamment dans le cas de la ville chinoise, où les données recueillies ne coïncident pas exactement avec le tableau, comme nous l'expliquerons en détail dans ce chapitre.

1. Données nécessaires pour la recherche

La première considération est le choix de la ville chinoise par rapport à la situation de Strasbourg.

Tout d'abord, Strasbourg est située dans le nord-est de la France et est le chef-lieu de la région Grand Est, la collectivité européenne d'Alsace et du Bas-Rhin. D'après les données fournies par l'INSEE (INSEE, Populations 2018, Strasbourg, 2020), l'agglomération comptait environ 790 000 habitants en 2018 (la population totale de la France cette année-là était de 66,92 millions), soit environ 1.2 % de la population nationale totale, ce qui en fait la ville la plus peuplée du nord-est de la France. Strasbourg se trouve dans la vallée du Rhin, avec la Forêt-Noire et les Vosges à l'est et à l'ouest respectivement. Cela signifie que ces

barrières naturelles affectent les vents de toutes les directions entrant dans la ville, et ce problème entraîne des températures estivales relativement élevées.

En ce qui concerne les données sur le PIB de Strasbourg, il convient de noter que, les statistiques officielles étant généralement basées sur des données régionales (comme la région Grand Est ou Alsace), à titre de référence, le PIB par habitant de la région Alsace en 2017 était de 31 700 € (Eurostat, 2020) et le PIB par habitant de la région Grand Est en 2020 était de 27 529 euros (INSEE, PIB, Grand Est, 2022), en utilisant la valeur moyenne du PIB régional par habitant et la population de l'agglomération de Strasbourg, la chiffre de la commune de Strasbourg pour cette année-là a été estimé et le résultat a été comparé avec le PIB national français. Selon les données en 2020, elle occupe environ 0,97% de la valeur nationale totale.

Nous allons passer au crible les villes chinoises similaires comme Strasbourg en fonction des critères suivants : les conditions naturelles, économiques et la typicité des villes chinoises.

Premièrement, concernant la latitude, la longitude et les conditions climatiques, nous trouvons les villes correspondantes sur la carte chinoise - Hohhot, Urumqi et Lanzhou - toutes situées dans la partie nord de la Chine, dans la région autour du 40° de latitude nord, principalement en haute altitude, avec un climat continental tempéré prédominant et des caractéristiques de mousson significatives en termes de température et de précipitations. Pour des raisons historiques et de politique de développement, généralement, la Chine est plus développée dans les zones côtières du sud-est, tandis que le développement des villes du nord et de l'intérieur des terres est à la traîne. Donc les deux côtés ne correspondent pas bien à l'échelle économique.

Ainsi, afin de prendre en compte des facteurs naturels tels que le climat et la topographie, nous nous concentrons davantage sur les villes intérieures du nord, dans le contexte de la combinaison du niveau économique et du processus d'urbanisation Tianjin et Xi'an ont été choisies. Les villes sont mieux assorties en termes de taille, mais ont toujours un climat de mousson, avec une répartition inégale des précipitations tout au long de l'année. Les précipitations sont concentrées en été, surtout à Tianjin qui, en tant que ville portuaire, est relativement influencée par la mer et d'autres influences, et la structure du sous-sol peut différer en raison de sa position.

Deuxièmement, nous avons tenu compte de la représentativité des villes chinoises, qui sont assemblées dans de grands bassins fluviaux, par exemple le delta du fleuve Yangtze et le delta de la rivière des Perles, qui sont à l'avant-garde du développement urbain de la Chine et sont très représentatifs à la fois des modèles d'urbanisation et des conditions naturelles. Sur cette base nous avons sélectionné Changsha, Wuhan, Nanjing et Hangzhou, dans les cours moyen et inférieur du fleuve Yangtze, ainsi que Guangzhou, Shenzhen et Zhongshan, les principales villes de la région du delta de la rivière des Perles.

En résumé, les villes du nord sont plus compatibles avec Strasbourg par les facteurs naturels, mais elles ne le sont pas particulièrement en termes de niveaux de développement économique et de processus d'urbanisation, et il y a relativement peu de recherches sur ce sujet.

En outre, les villes du sud bénéficient de précipitations plus abondantes et d'un réseau d'eau plus dense, de sorte que le thème de désimperméabilisation semble être plus pertinent pour ces zones qui souffrent d'inondations causées par les typhons et les fortes pluies chaque été et sont connues comme des "fournaies".

Du point de vue des données, les régions du delta du fleuve Yangtze et du delta de la rivière des Perles sont activement impliquées dans la construction de villes éponges, et le matériel de recherche disponible tourne autour de ces villes, ce qui leur donne un avantage en termes de collecte et d'emprunt d'information.

Guangzhou et Shenzhen, en tant que méga-cités qui ne sont pas particulièrement compatibles avec Strasbourg dans l'échelle de développement, sont toujours incluses dans la sélection pour des considérations de partenariat. Cependant, nous devons restreindre la zone d'étude et ne pouvons sélectionner que certains de ces zones. Mais étant donné que la plupart des données sont au niveau provincial ou municipal en tant qu'unité statistique, il serait difficile d'obtenir et de traiter des données pour des régions individuelles.

Et certaines de ces villes portuaires proches de la mer peuvent différer de Strasbourg dans l'étude et le traitement des questions de substrat urbain. D'ailleurs, Wuhan, située dans le bassin du fleuve Yangtze, est caractérisée comme "une ville aux mille lacs", un quart de la superficie de la ville étant couverte d'eau, ce qui signifie que les problèmes de substrat urbain et de surface imperméable de Wuhan sont différents de ceux d'autres régions et doivent être reconsidérés.

Après avoir effectué une sélection sur la base des critères ci-dessus et discuté avec notre partenaire, l'Université de Technologie de Chine du Sud, nous avons décidé de mener une étude de désimpermeabilisation à Guangzhou. Guangzhou est une ville typique et représentative, ainsi qu'une importante zone de développement économique. Guangzhou est située dans la zone côtière de la zone climatique de la mousson subtropicale, avec la rivière des Perles, un important système d'eau, qui traverse toute la ville, avec les précipitations abondantes, un temps chaud en été, une influence sévère des cyclones tropicaux et des inondations fréquentes. L'autorité de l'eau de Guangzhou a publié un rapport (Guangzhou Water authority, 2020), s'efforçant de parvenir à "aucun engorgement en cas de pluie légère et aucune inondation en cas de forte pluie" en 2025, et de prévenir et contrôler efficacement les inondations. En outre, le gouvernement municipal de Guangzhou a adopté et publié une annonce "Cahier des charges pour la construction de la ville éponge de Guangzhou", qui fixe l'objectif général selon lequel pas moins de 30% de la zone bâtie de la ville devrait répondre aux exigences de la construction d'une ville éponge en 2022, et divise le travail en parties plus petites, avec des zones de démonstration sélectionnées pour la construction dans chaque district. Cela signifie que la tâche consistant à la désimpermeabilisation est conforme à l'orientation du développement de la ville et revêt une plus grande importance pour la recherche. De plus, le partenaire, l'Université Technologique de Chine du Sud, a pu fournir des données et des informations sur le sujet, ce qui a été plus propice à la recherche.

Depuis lors, nous avons collecté et classé les informations de base de Guangzhou par l'intermédiaire de plusieurs plates-formes, telles que "National Science and Technology Infrastructure", "National Science and Technology Resources Sharing Service Platform", "Science data bank" et d'autres canaux officiels ou d'autres institutions, comme "Beijing City Lab", "Finer Resolution Observation and Monitoring - Global land cover" etc. surfaces imperméables, etc. Les données collectées sont rassemblées et classées en fonction de différents types et utilisations, tels que les types d'utilisation des sols, les bâtiments, l'hydrologie, le transport, les surfaces imperméables, etc (Voir l'annexe 1).

Il convient de noter que pour les données relatives à l'effet d'îlot de chaleur, nous avons utilisé le produit < Landsat surface temperature products over China> développé par (Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020) ainsi que le « Dataset de l'atlas des ressources et de l'environnement pour soutenir et servir la planification et la construction de la ville de Guangzhou et le développement vert » publiés par le Centre d'études géologiques de Wuhan de la Commission Géologique de Chine pour les travaux de cartographie de la situation géologique de Guangzhou (LIU, HUANG, ZHAO, 2019).

2. Les logiciels utilisés et les descriptions des données (Nouvelle section)

Dans le processus de cartographie, en principal, nous avons utilisé des logiciels liés aux SIG et avons considéré qu'ArcGIS est plus stable pour traiter de grandes quantités de données et est compatible avec plus de langages de programmation, tandis qu'ArcMap Online peut fournir certaines données officielles et des informations cartographiques. En comparaison, bien que QGIS soit un logiciel open source, il est plus facile d'accès, mais il peut nécessiter une variété de plug-ins pour étendre ses fonctions et peut être relativement compliqué pour convertir différents types de données. En conclusion, nous préférons choisir ArcGIS pour compléter la cartographie de désimpermeabilisation à Strasbourg et à Guangzhou.

Ainsi que le travail de la cartographie sur le sujet géologique, le jeu de données publié par le Centre d'études géologiques de Wuhan est au format *.wt, *.wl, *.wp, sous le système MapGIS, nous avons prétraité les

données à l'aide de MapGIS 6.7 pour les convertir au format shp. dans le système ArcGIS avant d'effectuer d'autres opérations.

Pour les données relatives à l'effet d'îlot de chaleur urbain, nous avons d'abord considéré les images brutes de Landsat fournies par la Commission géologique des États-Unis (United States Geological Survey (USGS)), mais elles nécessitaient une série d'outils de prétraitement tels que la correction topographique, la correction atmosphérique et la correction radiométrique avec d'autres logiciels comme ENVI. En raison de la grande étendue de la dimension temporelle des données, le processus est répétitif et prend du temps. Nous avons donc porté notre attention sur les données MODIS fournies par la NASA, en particulier, les produits synthétiques tertiaire (L3) pour donner une moyenne de température et d'émissivité de la surface terrestre par pixel sur 8 jours, qui ont une résolution spatiale est de 1 km. (MODIS/Terra Land Surface Temperature/3-Band Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid)(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MOD11A2>). La difficulté est qu'elles demandent encore un certain processus de prétraitement et la nécessité de extraire l'étendue spatiale de la localisation de Guangzhou et filtrer les points temporels de l'étude à partir de la vaste quantité de données disponibles à l'échelle mondiale.

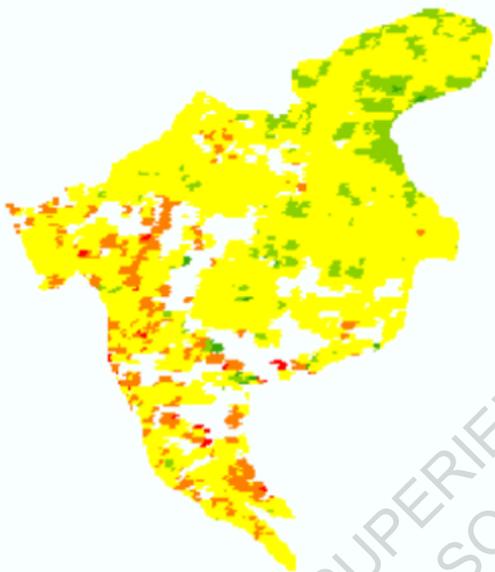


Figure 17: MODIS_MODLT1M.20100702.CN.LTD.AVG.V2
<https://www.gscloud.cn/home>

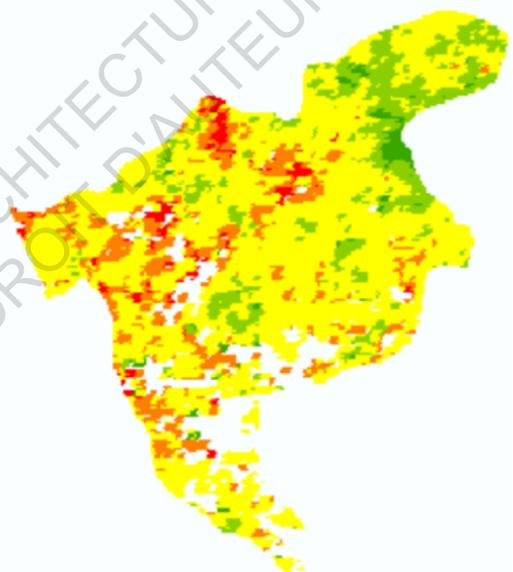


Figure 18: MODIS_MODLT1M.20150701.CN.LTD.AVG.V2
<https://www.gscloud.cn/home>

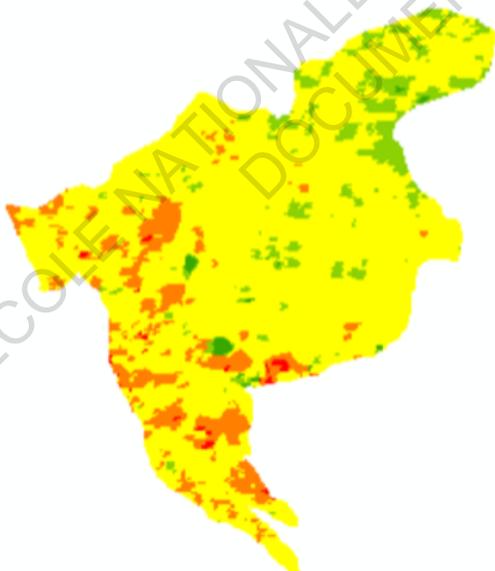


Figure 19: Après l'interpolation
MODLT1M.20100702.CN.LTD.AVG.V2

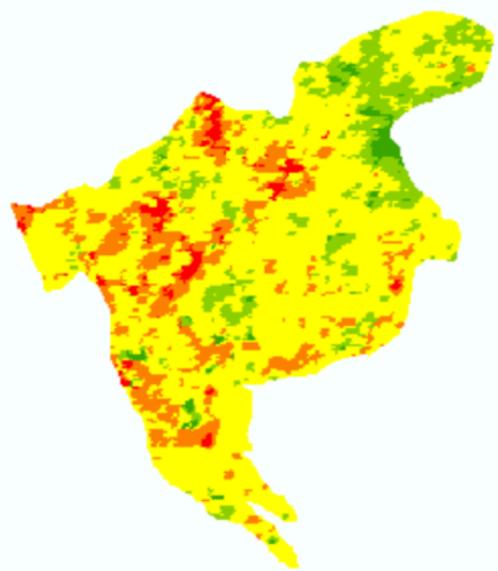


Figure 20: Après l'interpolation
MODLT1M.20150701.CN.LTD.AVG.V2

Pour cette considération, nous avons utilisé le produit synthétiques sur la température de surface régionale MODIS de la Chine fourni par le Geospatial Data Cloud (<https://www.gscloud.cn/home>), mais les résultats de la cartographie ont montré qu'il y avait des informations manquantes (Figure 17 et Figure 18), et après le traitement d'interpolation, il n'était toujours pas satisfaisant, et la résolution spatiale était trop faible pour être efficace (Figure 19, Figure 20).

Comme nous pouvons le voir sur les figures ci-dessus, les bords sont déchiquetés et la résolution spatiale est faible. Donc nous nous sommes tournés vers un produit pour la région chinoise développé par Zhang Zhaoming, He Guo-jin et d'autres chercheurs sur la base de Landsat (Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020). Ce produit a sélectionné les données de Landsat 5, 7 et 8 reçues par les satellites de télédétection chinois, dont la couverture couvre l'ensemble du pays et s'étend sur la période de 1986 à 2019. Un algorithme pervasif à canal unique est utilisé pour inverser la température de surface sur la base des images satellites originales, et une série d'outils de prétraitement, comme le traitement d'orthorectification, sont utilisés pour obtenir des images très précises. La résolution spatiale de ces données varie de 60m, 100m à 120m selon la source du satellite (Landsat 5, 7 et 8), le système de coordonnées et la projection du produit sont normalisés à WGS84 et UTM. Pour l'approbation de la précision des données, une erreur quadratique moyenne (Root Mean Square Error, RMSE) de 2K ou moins est requise lorsque la teneur en vapeur d'eau atmosphérique atteint 0,5 à 3 g/cm² (Jimenez-munoz, Cristobal, Sobrino, et al. 2009), et les résultats mesurés pour les échantillons en Chine indiquent une valeur de 0,83 K (ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, et al. 2016,7(3) : 279-288). Et puis, les valeurs mesurées pour la surface basées sur la SURFRAD (Surface Radiation Budget Network) montrent une précision d'inversion de 1,96 K avec une teneur en vapeur d'eau atmosphérique de 0,5 à 3 g/cm² .(ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, et al. 2016, 7(8) : 810- 816).

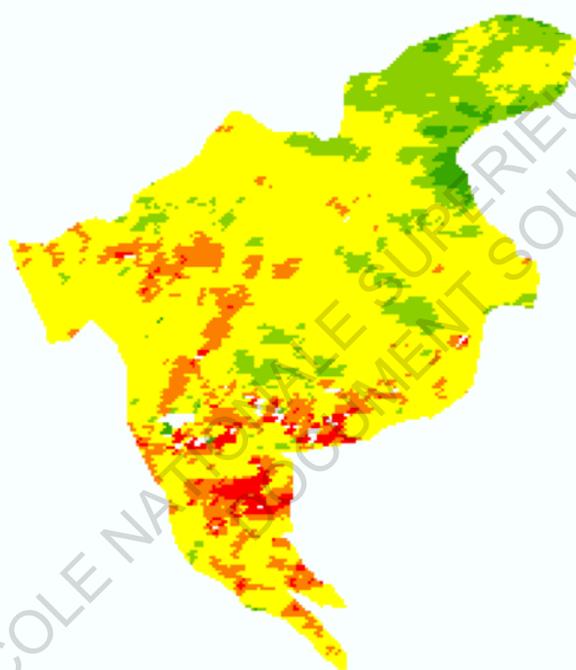


Figure 21: MODIS

MODLT1M.20000701.CN.LTD.AVG.V2

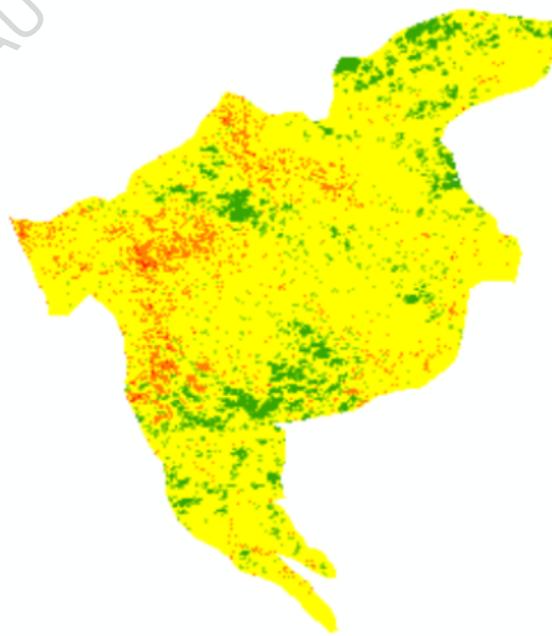


Figure 22: Landsat

L5-TM-122-044-20000704-LST-B6

Figure 21/Figure 22 : Comparaison de la précision entre MODIS et Landsat avec les différentes résolutions

Pour la cartographie géologique, nous nous référons au Centre d'études géologiques de Wuhan de la Commission Géologique de Chine publié sur la plateforme Geoscience Data Publishing System (<http://dcc.ngac.org.cn/cn/page/index.jsessionid=95DD0AADE3A49B17507FD7AB7BEC1F92>), "Un ensemble de

données de l'atlas des ressources et de l'environnement pour soutenir et servir la planification et la construction de la ville de Guangzhou et le développement vert" (Liu, Huang et al. V1. 2019). Les données ont été collectées de janvier 2016 à mars 2018 dans le cadre du projet "Une étude géologique environnementale de la région de la baie de Guangdong-HongKong-Macao à l'échelle 1:50 000", et le jeu de données couvre 53 cartes au format MapGIS et les instructions. Les données ont été collectées de janvier 2016 à mars 2018, portant sur 53 cartes et instructions au format MapGIS, qui sont utilisées pour formuler des recommandations scientifiques sur la planification territoriale et spatiale future et la construction de la ville éponge à Guangzhou et dans la région de la Grande Baie dans quatre domaines : la planification et la construction des villes et des grands projets, le développement et l'utilisation de l'espace territorial, la planification et l'aménagement industriels et la protection de l'environnement écologique.

3. Les limites des données et les notes supplémentaires

Il convient de noter que lors de la collecte des données pour la région chinoise, un certain nombre de problèmes se sont posés, tournant autour de la disponibilité des données open-source, de l'uniformité des formats, du degré de précision des informations, et des unités statistiques et des chargements des données.

Premièrement, les données open-source. Contrairement à la situation en France, il n'existe pas de plateforme dédiée aux données open-source parmi les différentes sections administratives des provinces et villes chinoises (par exemple, Strasbourg dispose d'un site web: OpenDataStrasbourg.eu, Nantes a également un portail d'information open-source: <https://metropole.nantes.fr/>). En revanche, en Chine, de nombreux sites web administratifs publient directement des contenus concluants, par exemple, les données relatives à la pollution des sols. Nous avons récupéré un bulletin de l'enquête nationale sur la pollution des sols, publié conjointement par le ministère de la protection de l'environnement et le ministère des terres et des ressources (Ministère de la protection de l'environnement / Ministère des ressources territoriales, 2014), qui donne une description générale de la situation de la pollution des sols dans tout le pays, mais ne donne pas d'informations plus détaillées sur l'origine des données, les critères de définition, la façon dont elles sont comptées, etc. Les recherches menées sur un même sujet par différentes organisations ont tendance à être fragmentées, s'appuyant davantage sur des images brutes de télédétection que sur des produits synthétiques ou des fichiers vectoriels plus simples et plus faciles à utiliser.

En d'autres termes, pour les différents niveaux d'unités administratives, nous manquons souvent d'une plateforme unifiée pour faciliter l'échange de données et d'information, même autour d'un sujet pareil. Et ce problème oblige différents chercheurs à traiter les données individuellement à partir de zéro, ce qui n'est idéal pour l'efficacité de la recherche. Aujourd'hui encore, la Chine dispose de sites web tels que "National Science and Technology Infrastructure", "National Science and Technology Resources Sharing Service Platform", "Science data bank", etc. comme indiqué ci-dessus, mais en comparaison, il est facile de constater qu'il existe encore des lacunes dans la vérification et la collecte des données. Par exemple, le champ d'application des données varie, dans une échelle nationale, collective ou une échelle de la ville individuelle; les types de données sont aussi variés — de nombreux ensembles de données sont enregistrés au format *.wt, *.wl, *.wp sous le système MapGIS, mais en fait, dans la pratique, ce logiciel n'est pas largement utilisé sur le marché international. C'est relativement difficile et gênant pour certaines collaborations conjointes ou pour les chercheurs qui ne sont pas familiers avec MapGIS.

En outre, ces sites web contiennent des données confuses ou incomplètes, et il n'y a aucun moyen de garantir l'exactitude et l'exhaustivité des informations ; de plus, il est assez difficile d'obtenir des sources de données pour certaines des données les plus sensibles, comme les données relatives aux bâtiments. Au début, les données que nous avons recueillies auprès de nombreuses parties n'étaient pas assez précises et nous avons examiné de nombreux rapports de recherche, et la plupart d'études sur l'extraction des surfaces imperméables à partir d'images de télédétection. Cela implique différentes méthodes, par exemple, l'identification et l'extraction des surfaces imperméables basées sur des caractéristiques spectrales et géométriques ou sur l'intelligence artificielle, qui est un sujet de recherche complexe en soi.

Enfin, nous nous sommes appuyés sur les données relatives à la superficie vectorisée des toits de 90 villes chinoises (2020)((Vectorized rooftop area data for 90 cities in China (2020)), téléchargées par le Laboratoire de détection et de simulation des villes intelligentes de l'Université normale de Nanjing en septembre 2021 sur le site web "National Science and Technology Infrastructure". C'est une donnée vectorisée sur les toits des bâtiments basée sur un modèle de segmentation sémantique d'apprentissage profond et des images de télédétection multi-sources. Nous avons contacté le laboratoire et sollicité activement son aide, et il a généreusement fourni des données distinctes de Guangzhou pour cette étude.

Pour l'originalité des données, comme mentionné dans le paragraphe précédent, contrairement à la région européenne, où la plupart des données sont traitées et converties en forme raster ou vector (.tiff, .shp, etc.) pour la cartographie, c'est plus facile pour la recherche. Cependant, de nombreuses études en Chine sont basées sur des images brutes de télédétection et nécessitent une série de processus de prétraitement fastidieux et longs avant le travail de cartographie.

En ce qui concerne la précision des données, telles que les données sur les bâtiments susmentionnées, avant les données vectorielles sur les toits des bâtiments fournis par l'Université normale de Nanjing, les données que nous avons collectées auprès de diverses sources étaient soit axées sur la zone urbaine centrale de Guangzhou, soit dépourvues d'informations élémentaires (la hauteur et le type de bâtiment, etc.), soit ne pouvaient pas être mises en correspondance avec la carte de base. Ce manque d'information et cette confusion ont causé des désagréments dans les travaux cartographiques ultérieurs.

Ensuite, parce que la plupart des données en Chine sont collectées à l'échelle nationale, régionale ou provinciale, cela signifie également que nous sommes confrontés à une surcharge de données tout en garantissant leur exactitude. Face à de telles quantités de données, le processus de téléchargement prend du temps et la zone d'étude doit être filtrée à partir des informations nombreuses et variées au moyen d'un recadrage ou de l'extraction de masques avant la cartographie.

IV. Analyse des résultats de la cartographie

1. Processus et résultats de la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur

La première étape, la sélection des données. Au cours du processus de cartographie, nous avons que des cartes présentaient des taches sombres, qui se reflétaient dans les tables d'attributs sous la forme de valeurs très basses ou les valeurs en dehors de la plage de température habituelle. Comme Figure 23 et Figure 24, probablement en raison de la couverture nuageuse, d'erreurs d'inversion des températures de surface et d'autres causes. Après remédiation à l'aide de méthodes d'interpolation, les résultats ne sont toujours pas satisfaisants et il est clair qu'une telle carte ne peut être appliquée dans un traitement ultérieur.

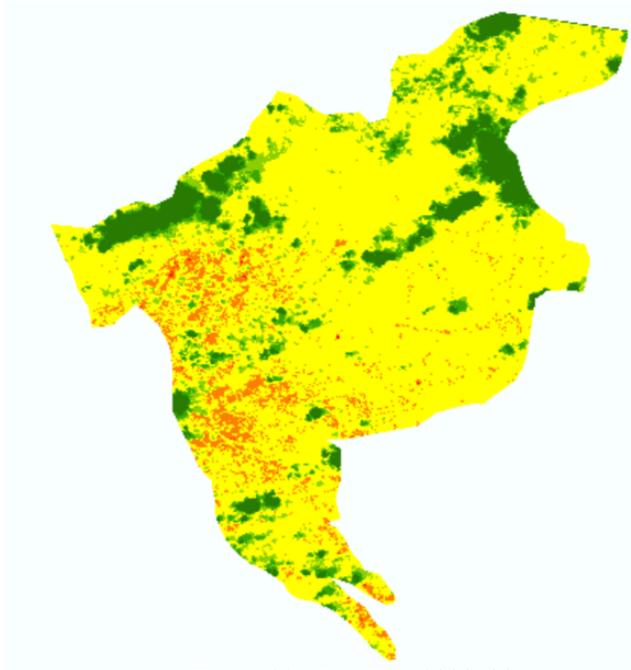


Figure 23: Landsat_2009_08
Résultat de la cartographie

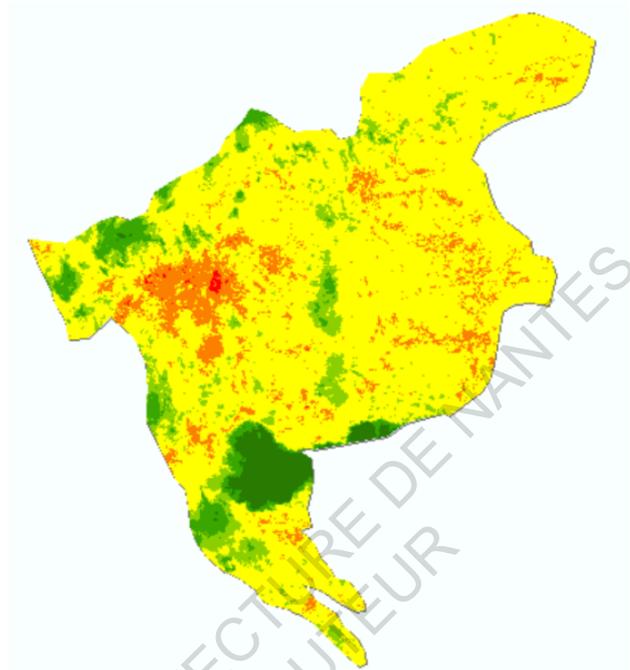


Figure 24 : Landsat_2019_07_means
Résultats de la cartographie

En plus d'exclure les données erronées, il est important de filtrer les données qui sont représentatives de la situation globale des températures pour l'année. Par exemple, les données de quelle saison devrions nous utiliser? Si nous prenons la valeur moyenne pour la représentation, nous devrions considérer la valeur moyenne de différentes périodes de temps: la valeur moyenne mensuelle, trimestrielle, annuelle, etc. À cet égard, nous avons comparé l'effet de la cartographie des saisons d'été et d'hiver (Figure 23, Figure 24).

Après le processus de calcul, nous avons pris les valeurs moyennes des données de température de juillet et août 2009, puis nous nous sommes référés à la méthode Jenks' natural breaks pour classer les différents niveaux de température de l'effet d'îlot de chaleur pour obtenir la Figure 25. Figure 26 à droite représente les données du 2 novembre 2009 en utilisant la même méthode.

Selon la carte d'occupation du sol et la carte topographique, la zone bâtie de la ville est diffusée vers l'extérieur le long de la rivière des Perles, principalement dans les zones basses et moyennes, et les parties nord et nord-est sont des zones de collines ou de basses et moyennes montagnes. Cette partie est densément boisée et non développée.

Guangzhou se trouve dans un climat typique de mousson subtropicale, avec des températures généralement élevées en été, et la différence de température entre les différentes régions n'est pas significative.

Le contraste parmi les cartes est meilleur lorsque le temps se rafraîchit après octobre, lorsqu'il est exempt de cyclones tropicaux. Par conséquent, nous préférons choisir la période d'octobre à février pour la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur.

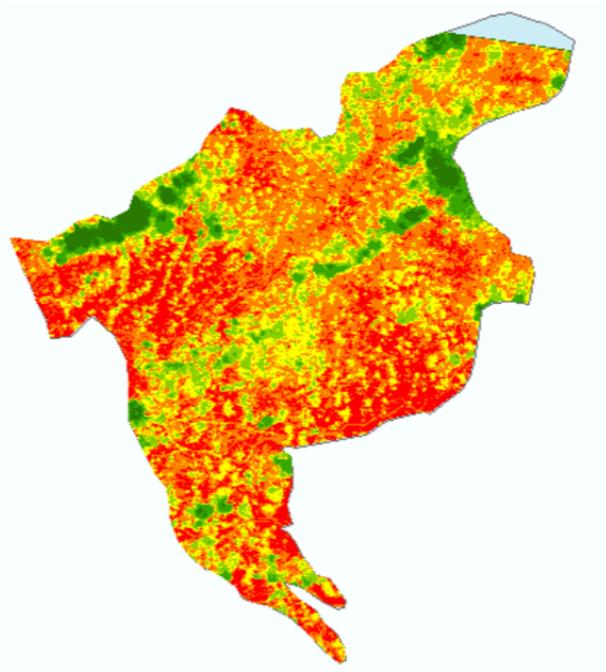


Figure 25: Landsat_2009_July_&_August_means
Effet d'îlot de chaleur fait par la méthode de Jenks'
natural breaks

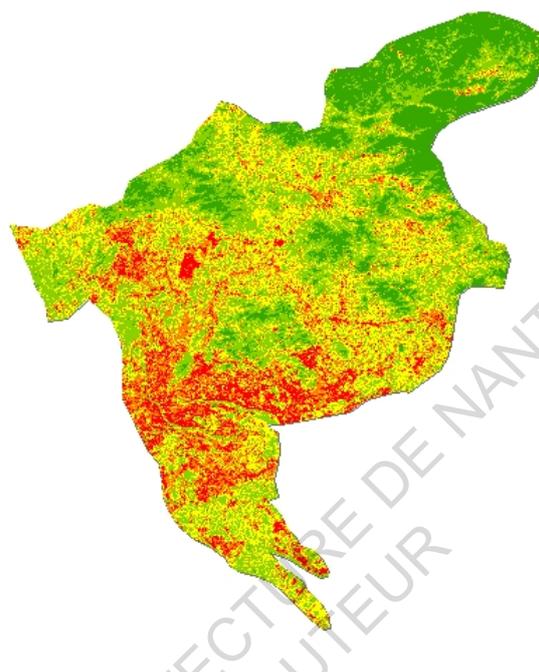


Figure 26: Landsat_2009_11
Effet d'îlot de chaleur fait par la méthode de Jenks'
natural breaks

Maintenant, nous devons clarifier la méthode de cartographie. Dans les données fournies par (Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020), la température de surface obtenue par l'inversion est convertie en unités Kelvin et stockée comme un nombre entier de 16 afin de réduire l'espace de stockage, la valeur de fond définie comme -9999. Ce qui signifie que nous devons inverser le calcul pour avoir la température. Cette valeur ne peut pas être utilisée comme un résultat direct et une classification de la classe de température est nécessaire.

Nous avons essayé les trois méthodes suivantes : La rupture naturelle (Jenks' natural breaks), l'écart moyen-standard (La distribution normale) et la normalisation, et les différentes méthodes de classification ont produit des résultats cartographiques différents.

La méthode de Jenks' natural breaks est l'une des six méthodes de classification proposées par ArcGIS et le principe est compris au niveau statistique, c'est-à-dire que la somme des variances est calculée pour différentes classifications et celle qui a la valeur la plus faible est identifiée comme la solution optimale. Ce qui signifie simplement que celles qui ont des valeurs similaires sont regroupées. (SUN et al. 2010) a étudié l'environnement thermique urbain de la ville de Guangzhou en fonction des différents types d'utilisation des sols, dans lequel la méthode de la pause naturelle de Jenks' natural breaks a été utilisée pour classer la température de surface.

En outre, (LI et al. 2021) ont montré que la courbe de la classe d'intensité de l'îlot de chaleur est conforme aux caractéristiques de la distribution normale et peut être divisée en appliquant la méthode de la distribution normale.

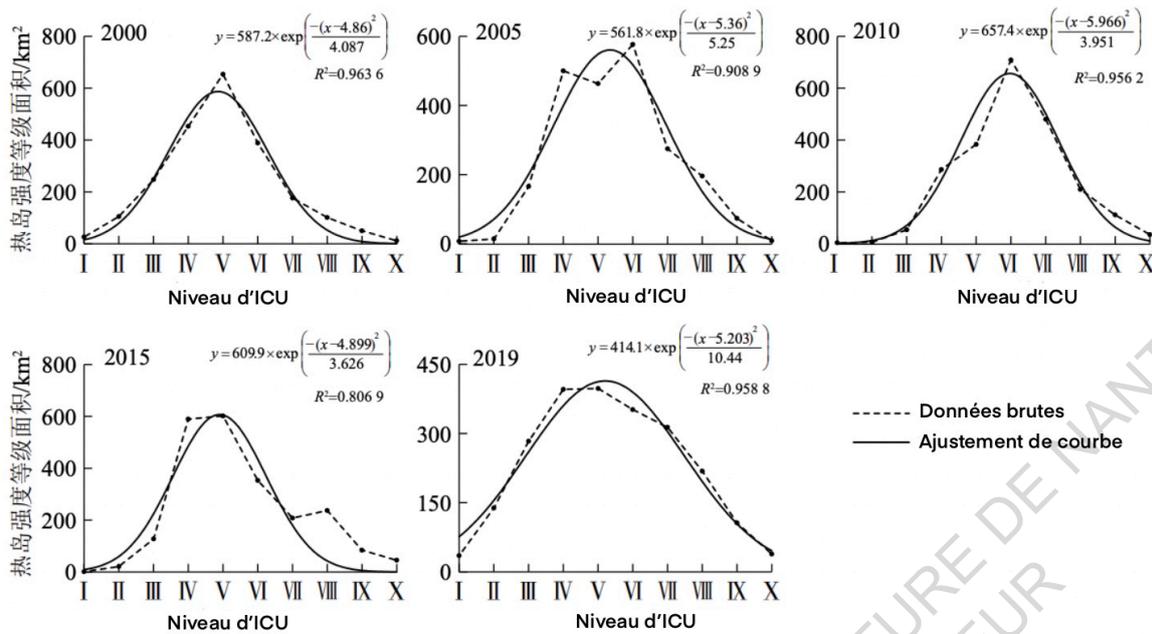


Figure 27 : La courbe d'ajustement de la zone pour la classe d'intensité de l'îlot de chaleur (LI et al. 2021)

Le rapport (CHEN et al. 2021) indique que la distribution spatiale de la température présente un état relativement stable et utilise le calcul d'une distribution normale, soit la méthode d'écart-type-standard, peut être utilisé pour classer les températures de surface dans les cinq catégories suivantes.

Niveau d'ICU	Gamme de valeurs
Zone de basse température / Zone de l'île verte forte	$T_s < \mu - 2\sigma$
Zone à température relativement basse / Zone de l'île verte	$\mu - 2\sigma < T_s < \mu - \sigma$
Zone sans îlot de chaleur	$\mu - \sigma < T_s < \mu + \sigma$
Zones chaudes/Zone de l'îlots de chaleur	$\mu + \sigma < T_s < \mu + 2\sigma$
Zone de haute température/zone d'îlot de chaleur forte	$T_s > \mu + 2\sigma$

Tableau 2 : Classification des classes d'îlots de chaleur selon la méthode de l'écart moyen-standard.

T_s est la température de surface dans la zone d'étude; μ et σ désignent respectivement la moyenne et l'écart-type de la valeur.

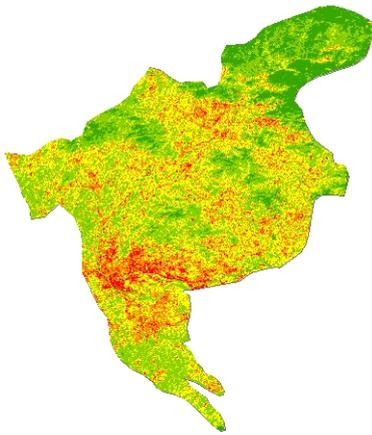
Pour la dernière méthode : la normalisation, tout d'abord, nous normalisons la température de surface à l'aide de l'équation $N=(T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})$ de sorte que sa valeur soit distribuée entre 0 et 1. Sur cette base, la densité de l'effet d'îlot de chaleur urbain à Guangzhou est divisée en zone d'îlot verte fort (0 - 0,2), zone d'îlot verte (0,2 - 0,4), zone sans îlot de chaleur (0,4 - 0,6), zone d'îlot de chaleur (0,6 - 0,8) et zone d'îlot de chaleur forte (0,8 - 1).

Nous avons sélectionné les mêmes séries de données et les avons tracées séparément selon la méthode ci-dessus et avons obtenu les résultats suivants.

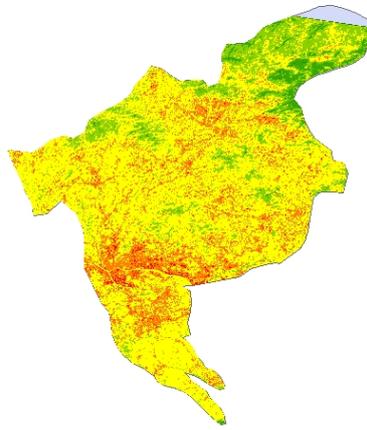
La rupture naturelle (Jenks' natural breaks)

l'écart moyen-standard (La distribution normale)

la normalisation



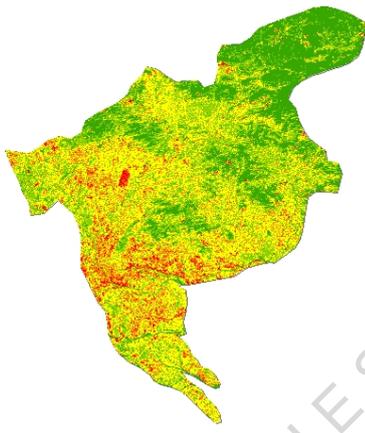
01.11.1997



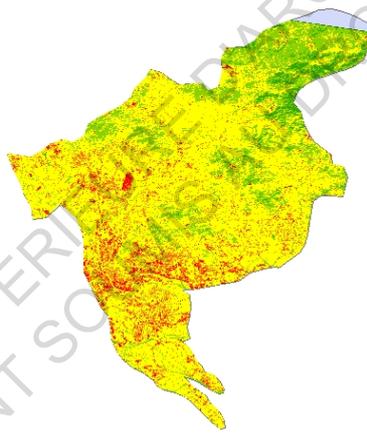
01.11.1997



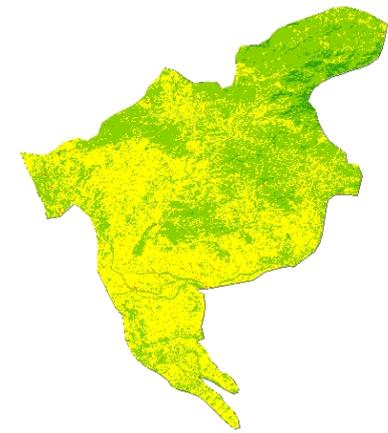
01.11.1997



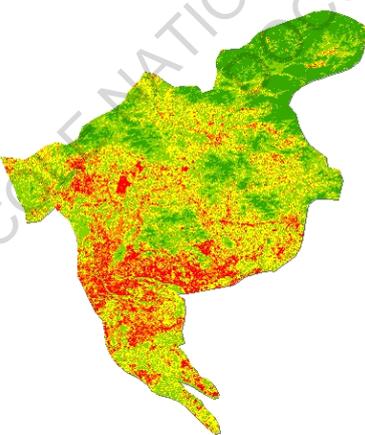
20.11.2004



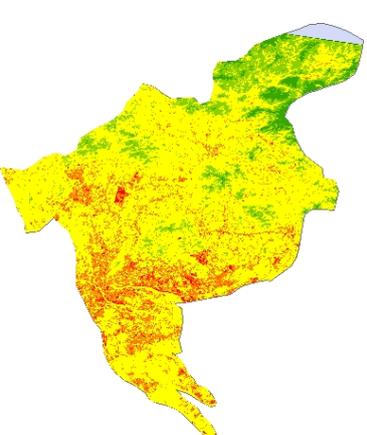
20.11.2004



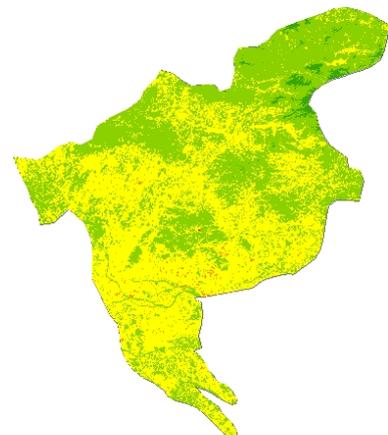
20.11.2004



02.11.2009



02.11.2009



02.11.2009

Figure 28 : Résultats de la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur présentés par différentes méthodes de classification

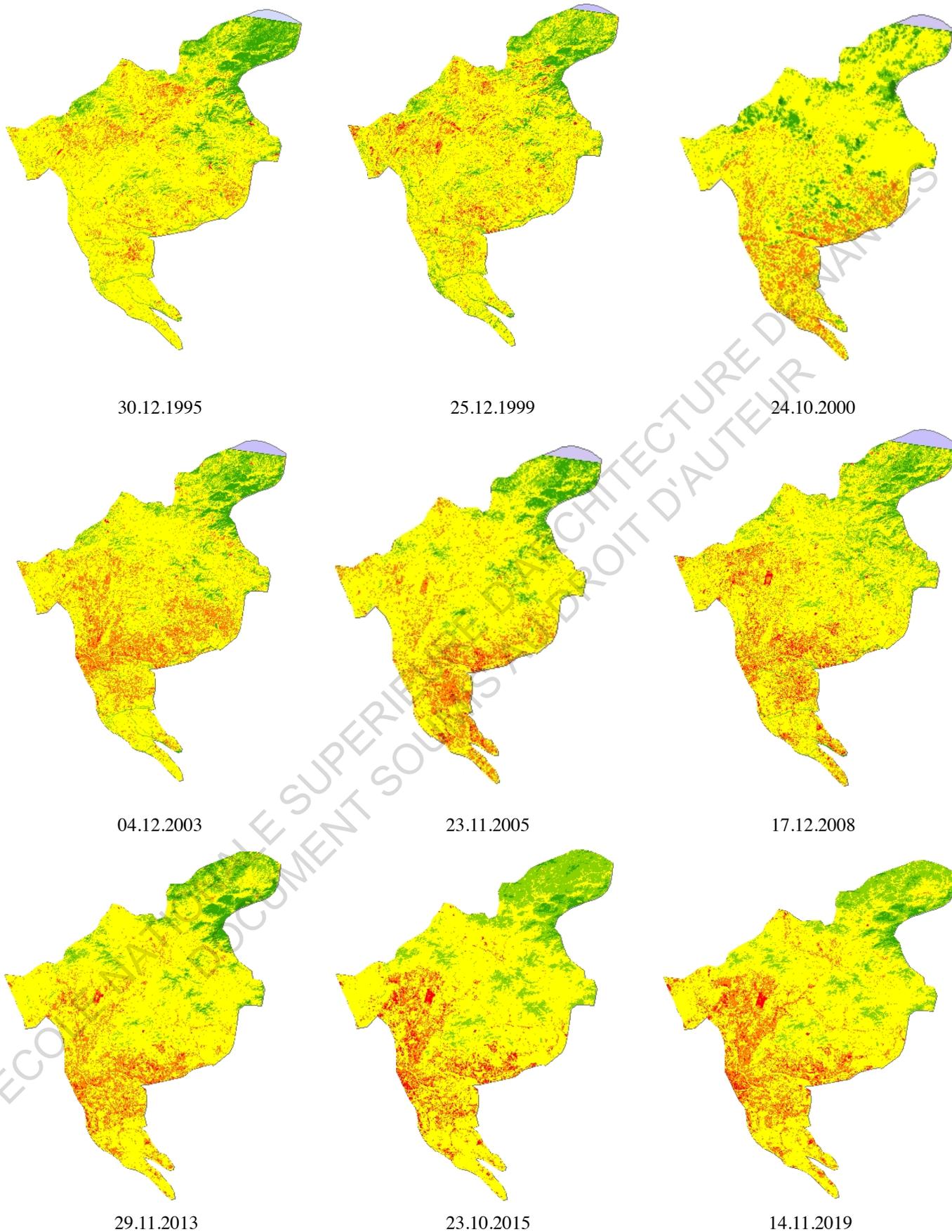


Figure 29 : Carte de l'effet d'îlot de chaleur urbain à Guangzhou entre 1995 et 2019 basée sur la méthode de l'écart moyen-standard.

D'après les résultats ci-dessus, les deux premières méthodes présentent un contraste plus clair entre les îles chaudes et les îles froides, et nous donnerons la préférence à la méthode de la rupture naturelle (Jenks' natural breaks) et à la méthode de l'écart moyen-standard (comme Figure 29, qui est tracée par rapport à cette dernière, parce que pour la rupture naturelle (Jenks' natural breaks), les résultats sont similaires et ne seront pas répétés).

Selon les résultats de la cartographie, nous pouvons observer que la distribution spatiale de l'effet d'îlot de chaleur à Guangzhou a changé au fil du temps, coïncidant avec le processus d'urbanisation de la région. En termes de dimension temporelle, l'effet d'îlot de chaleur s'est développé rapidement depuis le début du nouveau siècle, parallèlement aux grands projets de construction urbaine, et a été le plus intense ces dernières années ; en termes de dimension spatiale, les zones d'îlot de chaleur de forte intensité sont principalement situées dans les centres de développement, essentiellement des zones bâties pour les activités économiques et les usages résidentiels, et les surfaces naturelles réparties dans le nord-est, où l'intensité de l'effet d'îlot de chaleur a considérablement diminué.

Dans notre sélection de zones potentielles où la suppression de l'imperméabilité peut être mise en œuvre, la priorité sera donnée aux zones présentant un effet d'îlot de chaleur important, par exemple, comme nous le mentionnerons plus loin, la Jockey Club Home City dans le district de Tianhé, qui présente un effet d'îlot de chaleur très marqué par rapport à ses environs. Nous utiliserons ensuite les résultats de la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur, combinés à la carte de base, pour sélectionner les zones potentielles pour la mise en œuvre de la suppression de l'imperméabilité.

2. Cartes géo-hydrologiques de Guangzhou

Pour cette partie du projet, en principal, nous nous référons à la méthodologie appliquée à Narbonne, mais les différents aspects des cartes ZPI, ZCE et d'occupation du sol ne sont pas identiques et seront ajustés en fonction de la situation réelle à Guangzhou.

Pour compléter le contenu cartographique, MapGIS et ArcGIS ont été principalement utilisés, le problème étant que les données exportées de MapGIS ne respectaient pas les systèmes standards de coordonnées géographiques et de projection, et nous ne pouvons pas résoudre ce problème par une simple conversion des systèmes de coordonnées dans ArcGIS. Nous avons créé un outil personnalisé de transformation géographique (coordonnées) en utilisant les paramètres suggérés dans l'article (Zhao Yu-ming et al. 2013). En choisissant la méthode de transformation, en considérant que la transformation projective est plus libre, nous avons choisi la transformation géocentrique (GEOCENTRIC_TRANSLATION) pour opérer sur les données post-projection. Après l'opération par lot des données exportées par MapGIS, converties du système de coordonnées Xi'an 1980 au système de coordonnées WGS84, avec l'aide de l'outil de transformation, nous pouvons obtenir le système de coordonnées géographiques canonique.

Pour la section sur la Pédologie, nous avons fait la cartographie sur la distribution des différents types de sol et la distribution des différents niveaux d'infiltration à Guangzhou.

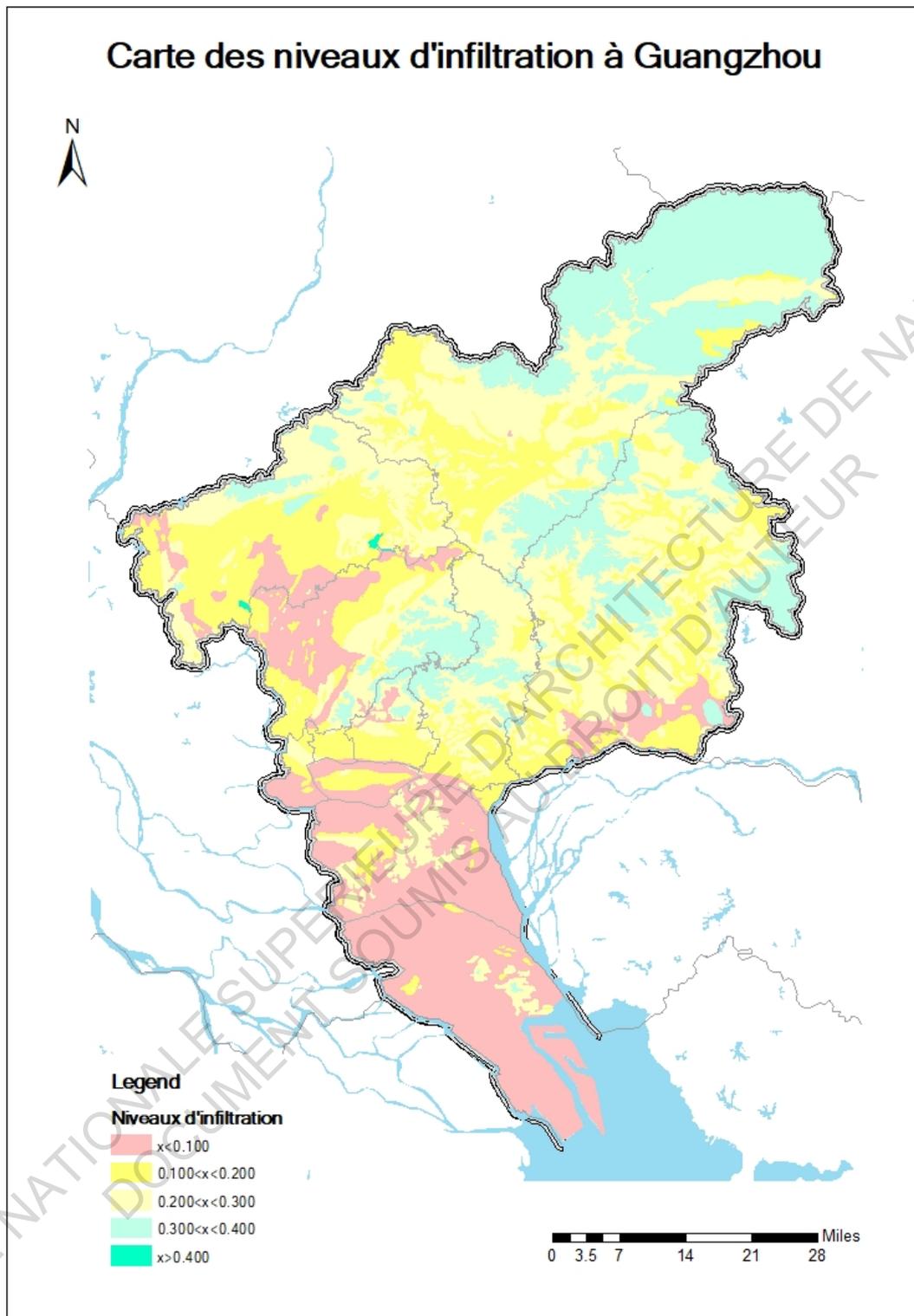


Figure 30 : Carte des niveaux d'infiltration des sols à Guangzhou

Il est important de noter que le facteur d'infiltration des sols α , qui peut indiquer la capacité d'infiltration du sol, est le rapport entre la quantité d'eau souterraine rechargée par l'infiltration des précipitations (P_r) et la quantité P correspondante de précipitations. Le coefficient d'infiltration α varie de 0 à 1, en général, la valeur P_r dépend de multiples facteurs, par exemple, les précipitations, l'intensité des précipitations, la profondeur des eaux souterraines, les éléments climatiques, etc..., de sorte que α change en fonction des conditions spatiales et temporelles.

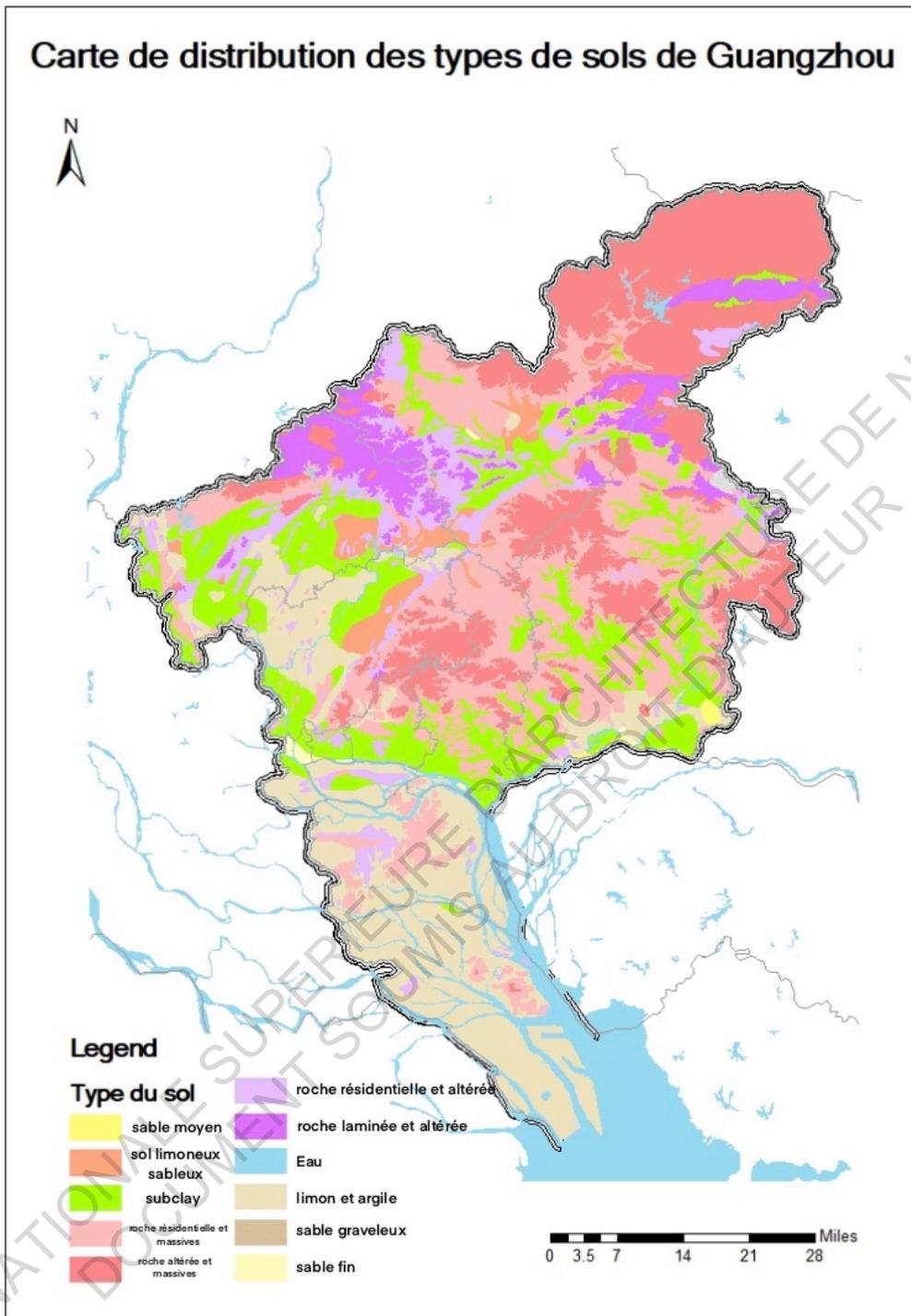


Figure 31 : Carte de distribution des différents types de sols à Guangzhou

En combinant la Figure 30 et la Figure 31 nous avons obtenu les niveaux d'infiltration pour les différents types de sol à Guangzhou. Ce qui constitue une référence importante pour la mise en œuvre de la désimperméabilisation à Guangzhou.

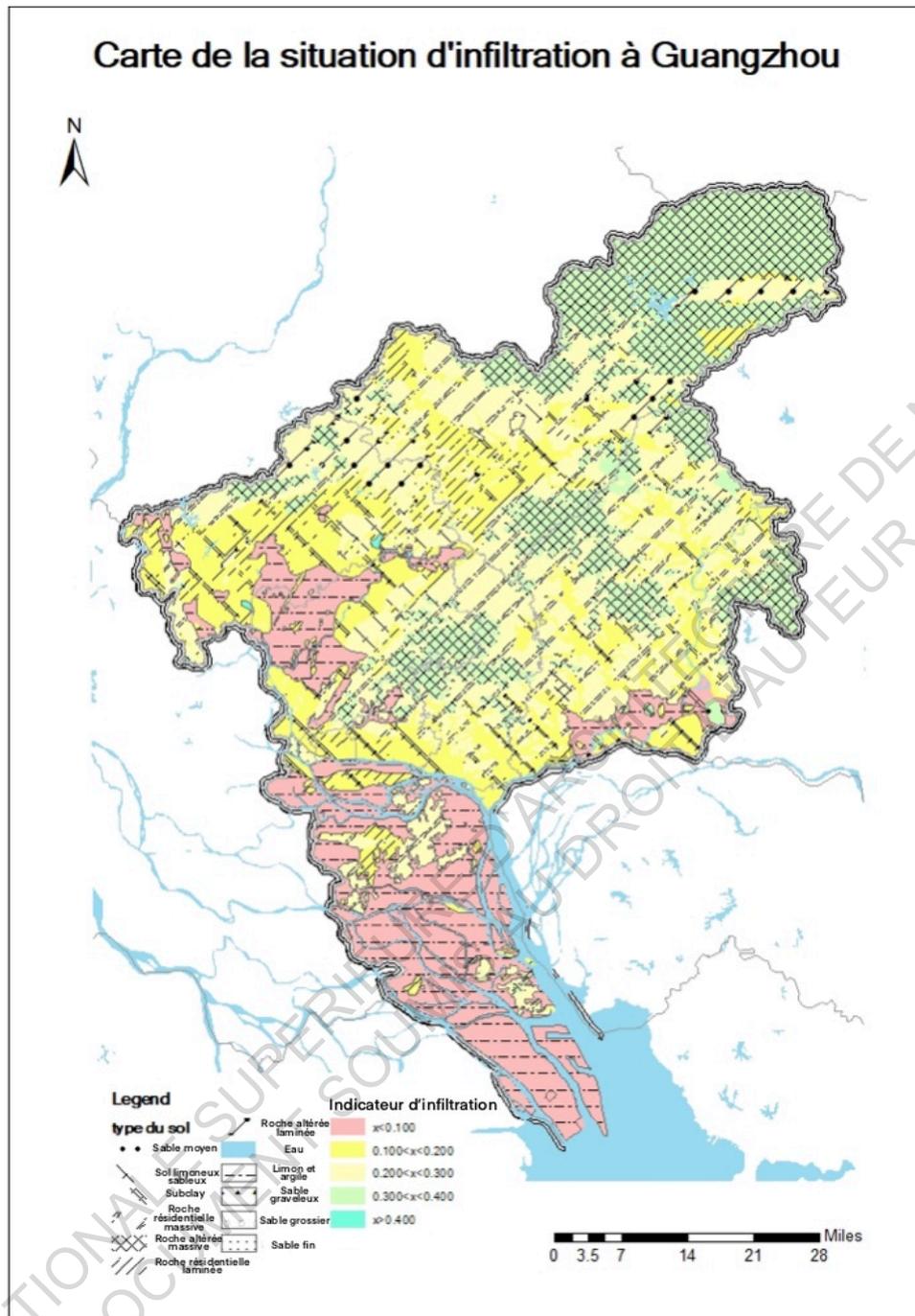


Figure 32 : Les deux premières figures se combinent pour obtenir les niveaux d'infiltration pour différents types de sol à Guangzhou.

Les résultats de la cartographie montrent que l'infiltration des sols dans la zone bâtie de Guangzhou n'est pas encourageante, la majorité de la zone centrale urbaine restent en dessous de 0,2. Pour faire la désimpermeabilisation, nous préférons les zones avec la forte capacité d'infiltration naturelle, mais comme nous pouvons l'observer sur la carte ci-dessus, les zones à fort coefficient d'infiltration sont généralement des zones boisées, comme les zones montagneuses vallonnées du nord-est et les montagnes Baiyun du centre, qui sont souvent recouvertes de sols naturels. Par conséquent, nous ne pouvons qu'essayer de sélectionner des zones présentant un meilleur degré d'infiltration parmi les surfaces imperméables des zones bâties.

Dans l'atlas de ZPI, pour l'activité géologique associée au risque de retrait et de gonflement de l'argile, nous n'avons pas trouvé les données qui peuvent parfaitement correspondre avec la demande de cette carte, mais nous avons trouvé la distribution des épaisseurs de sol mou et leur risque de tassement. Théoriquement, l'argile appartient à la catégorie des sols mous et il est en effet nécessaire d'éviter les zones présentant un risque élevé de tassement des sols mous lors de la mise en œuvre de la désimperméabilisation afin d'éviter l'impact des modifications structurelles de la sous-couche sur la partie perméable et les structures perméables.

Distribution des sols mous et épaisseur des sols mous à GuangZhou

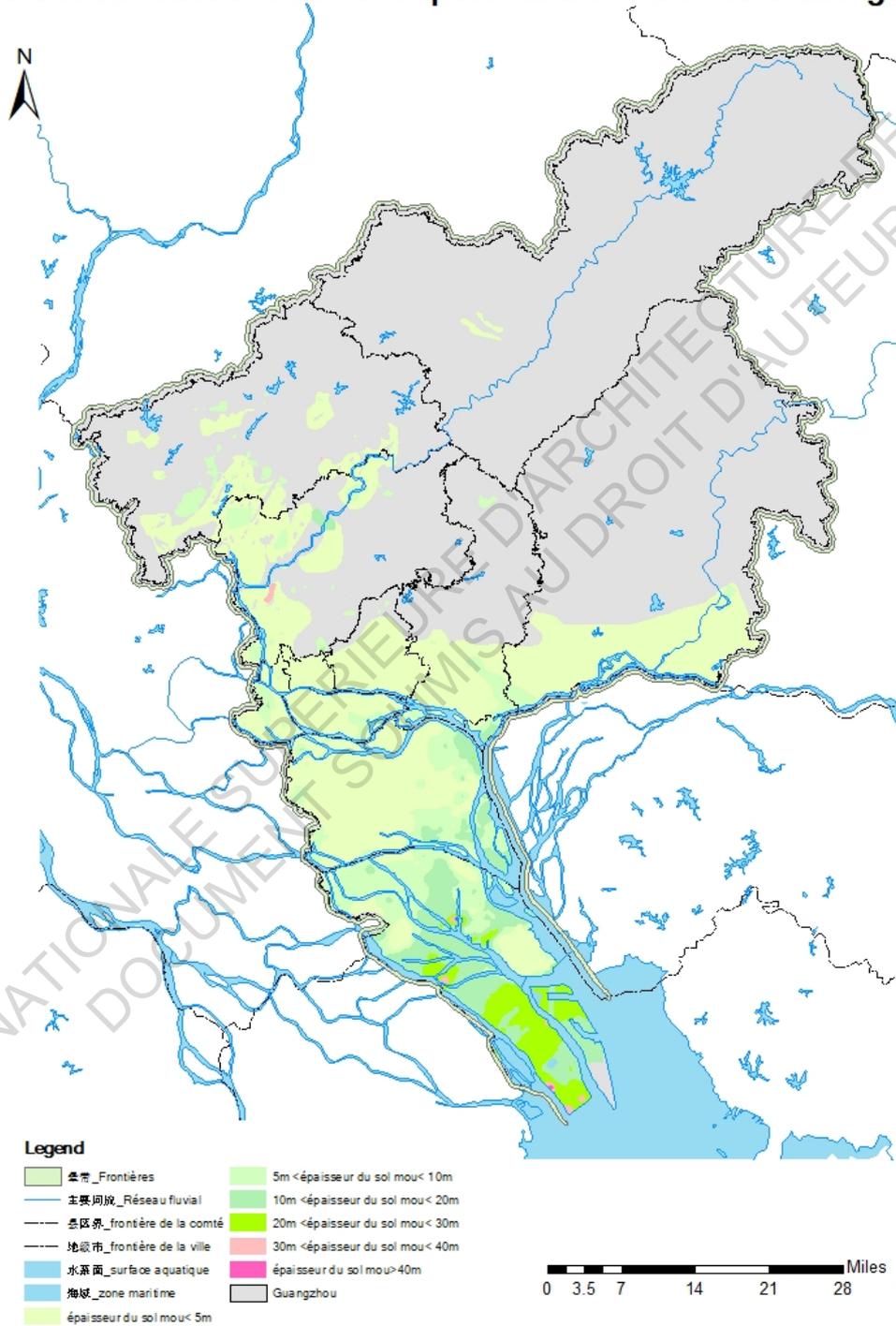


Figure 33 : Distribution des sols mous et distribution d'épaisseur des sols mous à Guangzhou

Carte de zonage des risques de tassement des sols mous à Guangzhou

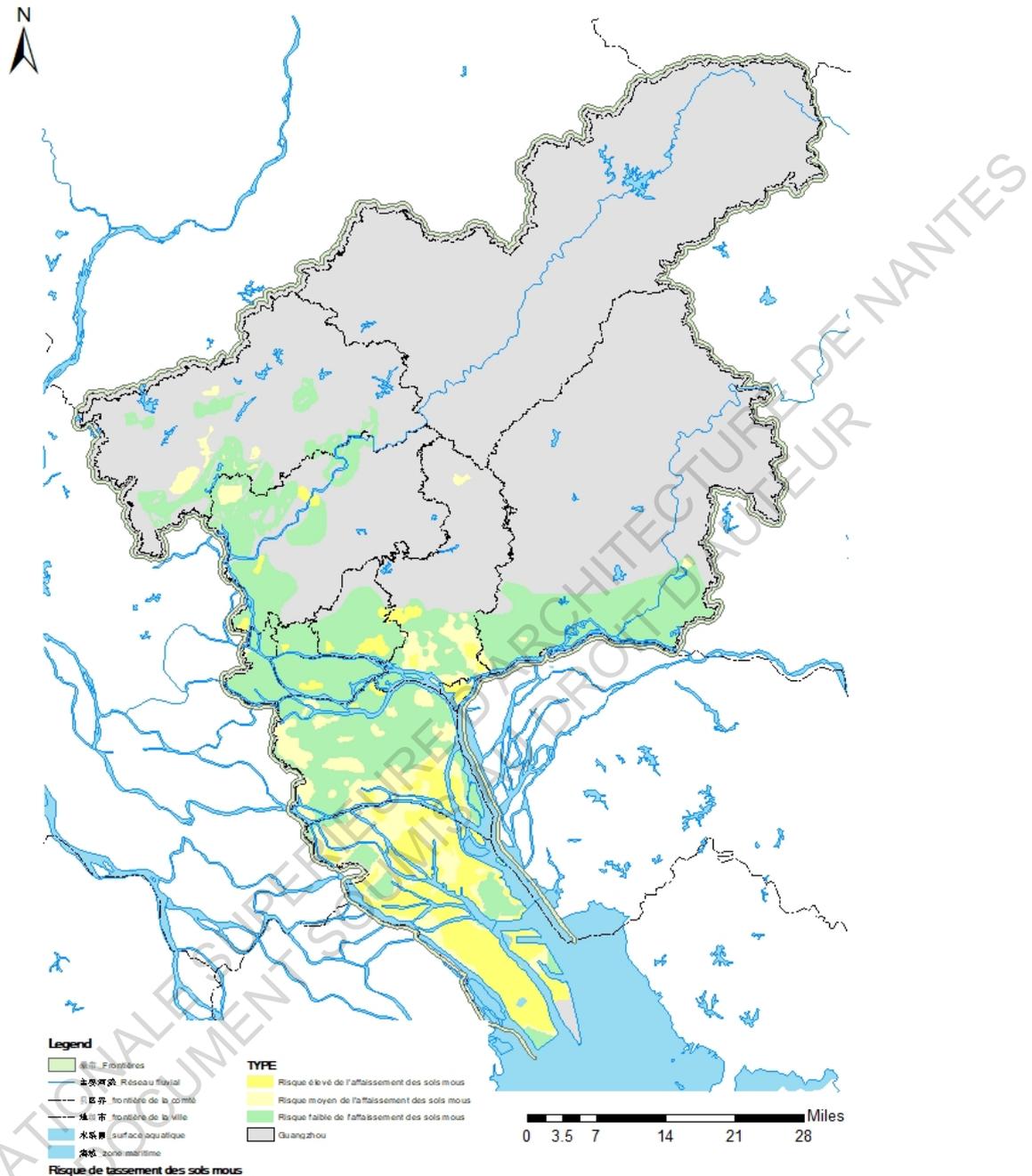


Figure 34: Carte de zonage du risque de tassement des sols mous à Guangzhou.

De la carte ci-dessus, il est facile de observer les couches de sol mou étendues dans le centre de la ville de Guangzhou, qui est en accord avec la carte précédente de la distribution des différents types de sol. Dans le centre et le sud sont principalement de type limon-argile. Le sol distribué dans la zone centrale bâtie n'est pas épaisse, en général, l'épaisseur varie de 5 à 10m. Mais le district de Nansha du sud, comme un centre de liaison de la baie de Guangdong-Hong Kong-Macao, qui est un coeur du développement futur, il y a beaucoup de projets sont en cours de construction ici. En raison de l'épaisseur du sol mou, il doit prendre en compte impact des couches de sol mou au cours du processus d'installation. Lors de la sélection des zones pour la mise en œuvre de la désimperméabilisation pour les zones potentielles, nous combinerons la carte de répartition du risque de tassement des sols mous pour sélectionner les points présentant des couches de sol mou minces et un faible risque de tassement dans la mesure du possible.

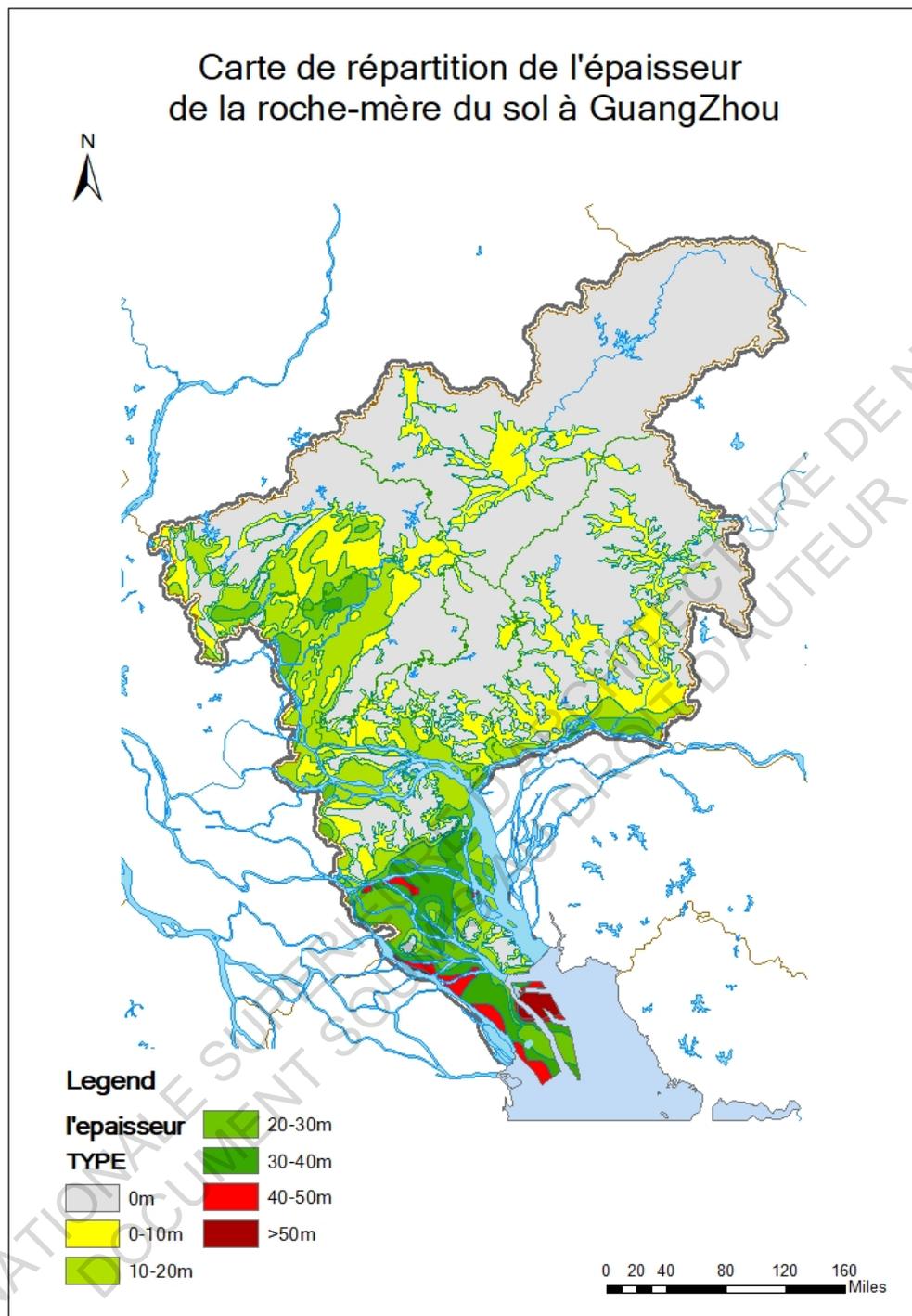


Figure 35 : Carte de répartition de l'épaisseur de la roche-mère du sol à Guangzhou

De plus, nous avons fait la cartographie de la distribution d'épaisseur de la roche-mère du sol et le risque d'effondrement de cavités naturelles (Figures 35 et Annexe 2). Selon l'interprétation du Dictionnaire des ressources en eau (Université de Hohai, 2015), la roche-mère est une couche de roche dure laissée à la surface du sol après le processus de la météorisation, généralement composée d'un ou plusieurs types de roches, enfouie à des profondeurs variables. Et la roche-mère peut être utilisée comme une fondation pour de grands projets de construction. En se référant à une étude menée par (XIE et al. 2018) à Wuhan sur les zones potentielles pour la construction de villes-éponges, qui mentionne les zones avec un substrat rocheux exposé doivent être évitées autant que possible, le cas montre que les zones avec une couverture mince de la formation rocheuse du quatrième trimestre et un substrat rocheux exposé ont un espace limité pour le

stockage de l'eau, ils peuvent affecter la rétention et l'infiltration des eaux de pluie et doivent être évitée autant que possible lors de la construction de villes-éponges.

Les vides miniers ("goaf" en anglais) sont les zones où les activités minières ont créé des "vides" sous la surface, ces trous ont affaibli la structure géologique. Ces vides souterrains sont susceptibles d'entraîner un risque d'effondrement et ne sont évidemment pas propices à la réalisation d'opérations de la désimperméabilisation (Annexe 2).

À l'aide d'images de télédétection, nous avons produit une carte topographique de la ville de Guangzhou (Annexe 2), qui est haute au nord-est et basse à l'ouest, avec une forêt dense au nord et au nord-est, entourée de collines basses à moyennes à 500m au-dessus du niveau de la mer. Le petit renflement au centre est la zone des montagnes Baiyun, et la plaine alluviale au sud est basse et plate en altitude, fertile et très arrosée, et fait partie du delta de la rivière des Perles. Lors de la sélection des zones potentielles pour la désimperméabilisation, nous devons éviter autant que possible les zones du sud avec un réseau d'eau dense afin de réduire les obstacles à la construction.

Pour la cartographie des zones à risque d'inondation, il s'agit d'un sujet relativement complexe. Si l'on considère les choses de la manière la plus simple, c'est la topographie qui a la plus grande influence sur le risque d'inondation. Mais si l'on considère les choses de manière plus complexe, toute une série de facteurs d'influence entrent en jeu : la fréquence des précipitations, l'intensité des précipitations, la répartition des eaux souterraines, la densité de population, l'importance régionale, le type d'utilisation des sols, la capacité d'infiltration du sol, la capacité de stockage de l'eau des structures géologiques, la capacité de charge des systèmes de drainage urbain, etc. Le degré d'influence de nombreux facteurs varie et il faut leur accorder des pondérations différentes. Par exemple, dans l'étude (WANG Wen-chuan et al. 2019) sur l'évaluation du risque d'inondation urbaine à Fuzhou, une autre ville en Chine, les principales considérations sont le degré des flaques de l'eau après la précipitation et l'importance de la zone, où le degré d'engorgement d'eau pluviale est subdivisé en profondeur et en durée. Selon les recommandations des experts, les trois aspects de la profondeur et de la durée de l'engorgement d'eau pluviale, et aussi de l'importance du bloc sont pondérés respectivement à 0,4, 0,4 et 0,2. Le risque d'inondation régional est calculé comme la somme R des trois aspects.

- $R < 1,8$, indique que l'engorgement d'eau pluviale n'a pas ou peu d'impact sur les résidents et les infrastructures;
- $R > 2,4$ indique que la zone d'engorgement d'eau pluviale est largement distribuée et sa profondeur est supérieure à 30 cm, il s'agit d'une zone à haut risque;
- Entre les deux, le risque est moyen. (WANG Wen-chuan et al. 2019)

(WANG Wen-chuan et al. 2019) En travaillant avec le logiciel Infoworks ICM, une simulation a été réalisée avec un scénario de précipitations continues de 24 heures d'une pluie de 50 ans pour calculer la valeur de risque R pour chaque district de la ville et obtenir une carte de zonage des risques d'inondation pour la principale zone urbaine à Fuzhou.

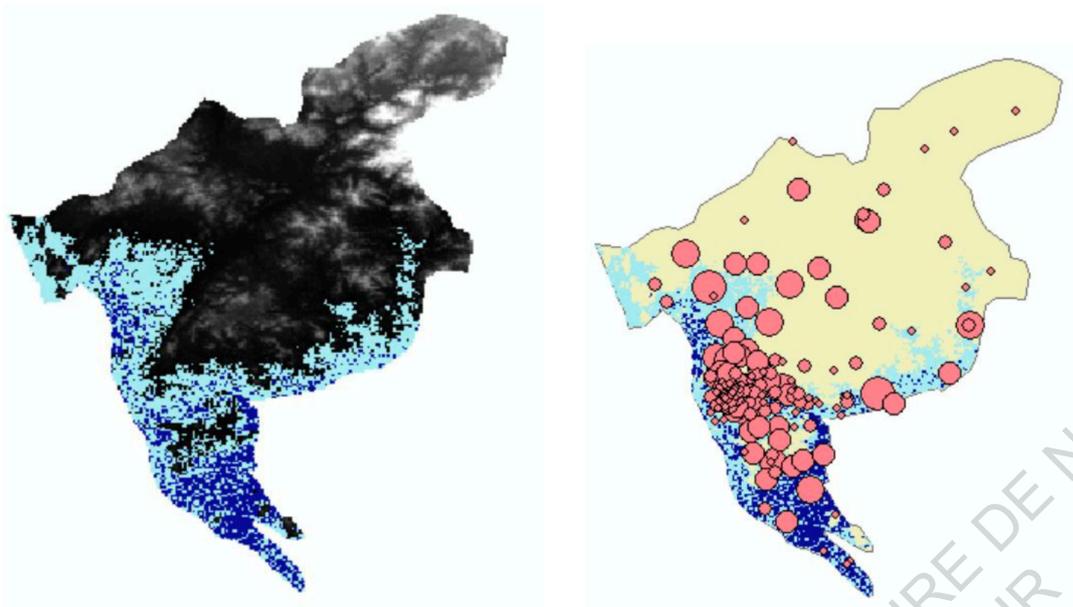


Figure 36 : Distribution des zones à risque d'inondation et de la densité de population à Guangzhou

Plus la couleur est foncée, plus la zone est susceptible d'être inondée et la taille du cercle rose indique la densité de la population.

Les causes des inondations urbaines sont complexes et régies par des facteurs multivariés, et compte tenu des contraintes de temps de ce stage, et du fait que le but principal de la cartographie est de servir de référence pour des opérations ultérieures de la désimpermeabilisation. Donc nous avons simplement fait la cartographie à partir des aspects de la topographique et de la répartition de la population.

Considérant que l'opération de la désimpermeabilisation se produit essentiellement dans la surface de la sous-couche, sa structure de construction et le processus de stockage et d'épuration de l'eau pluvial peuvent avoir certains impacts. Par exemple, l'étape de purification de l'eau pluviale précipite les contaminants, et pour éviter que contaminants ne pénètrent dans l'environnement des eaux souterraines, nous devons essayer d'éviter les zones où ils sont densément répartis. Comme mentionné dans (DAI, 2017), il existe de nombreuses villes avec des nappes phréatiques élevées situées dans des plaines d'inondation côtières qui sont confrontées à des inondations plus graves et où les villes éponges ou la désimpermeabilisation sont plus difficiles à réaliser.

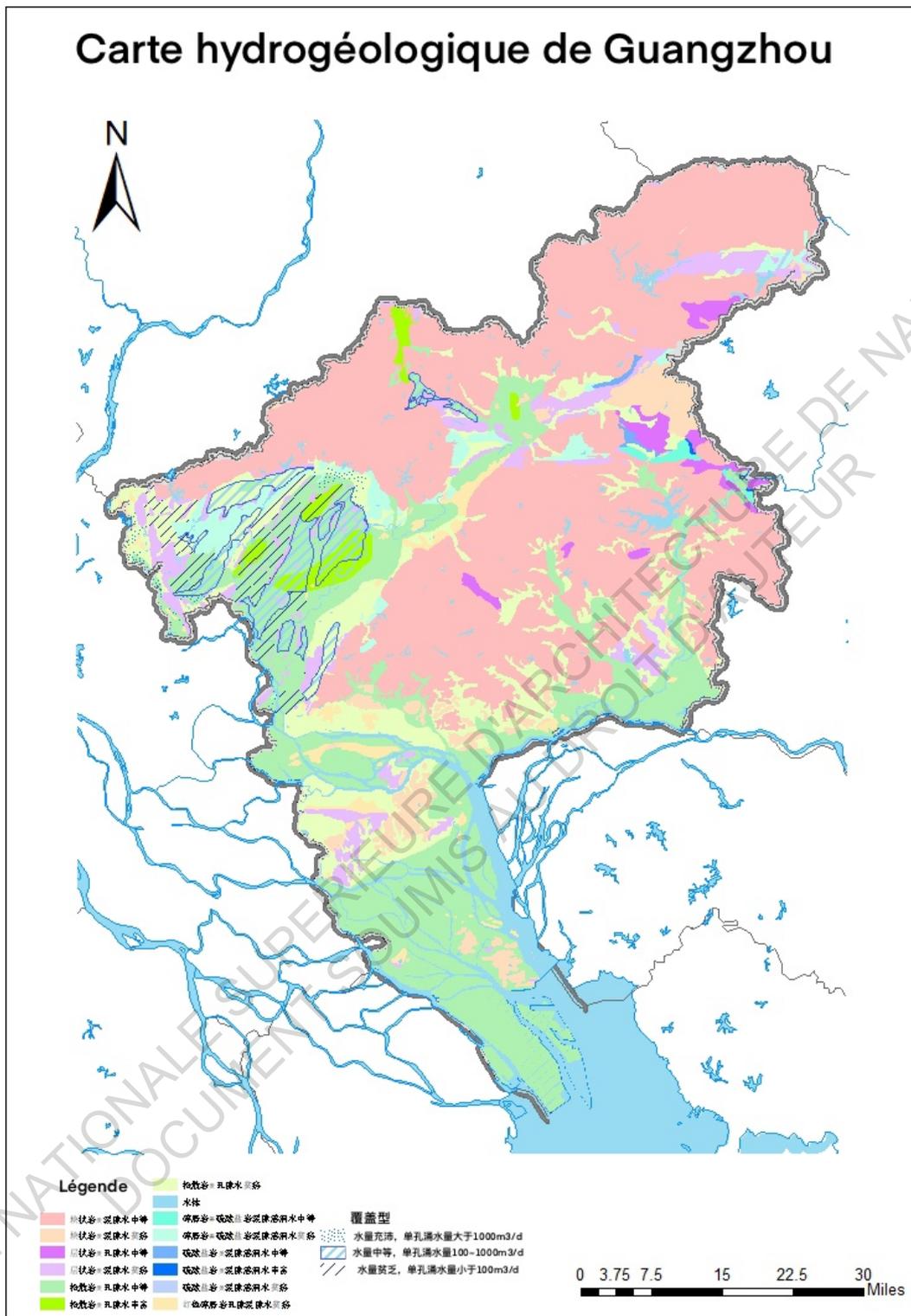


Figure 37 : Carte hydrogéologique de la distribution des types d'eaux souterraines et de leur richesse en eau à Guangzhou.

3. Cartographie de la surface imperméable et les autres résultats connexes

Différent avec les données collectées à Strasbourg, qui peut représenter des informations sur la zone bâtie de manière plus détaillée (Les données vectorielles contiendront plus d'information sur le type d'imperméabilité : par exemple, une surface imperméable de bâtiment, une surface imperméable de circulation, une surface imperméable industrielle, un espace privé ou public, etc.). Pour l'étude de l'imperméabilisation du côté chinois, la plupart des données que nous avons collectées provenaient d'images de télédétection, où seules les valeurs 0 ou 1 pour indiquer les surfaces perméables et imperméables. Cela signifie que nous savons seulement si le sol est perméable ou imperméable, et qu'il n'y a aucun moyen d'en savoir plus sur lui, comme son degré d'imperméabilité, le matériau imperméable, le type d'utilisation, etc.

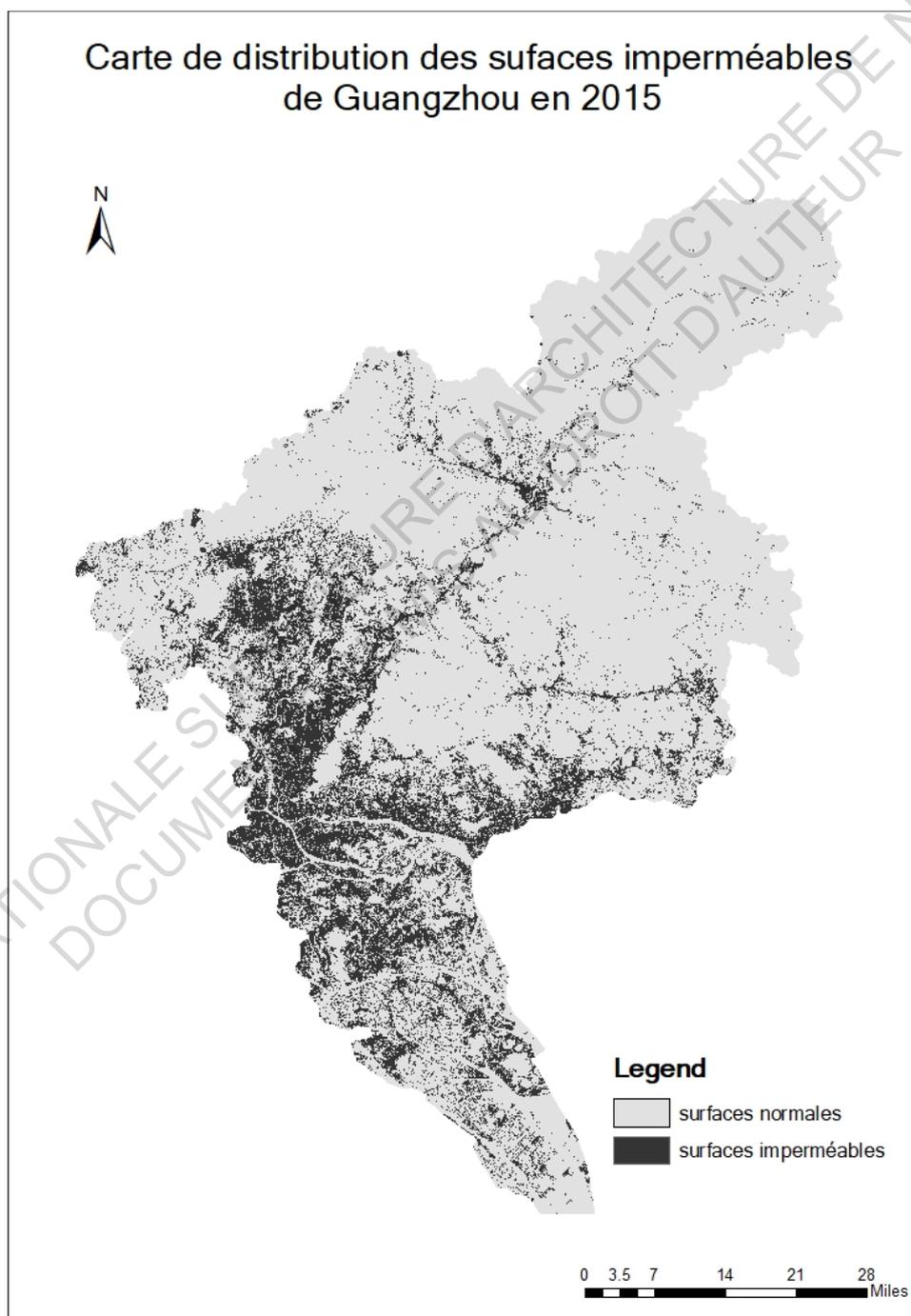
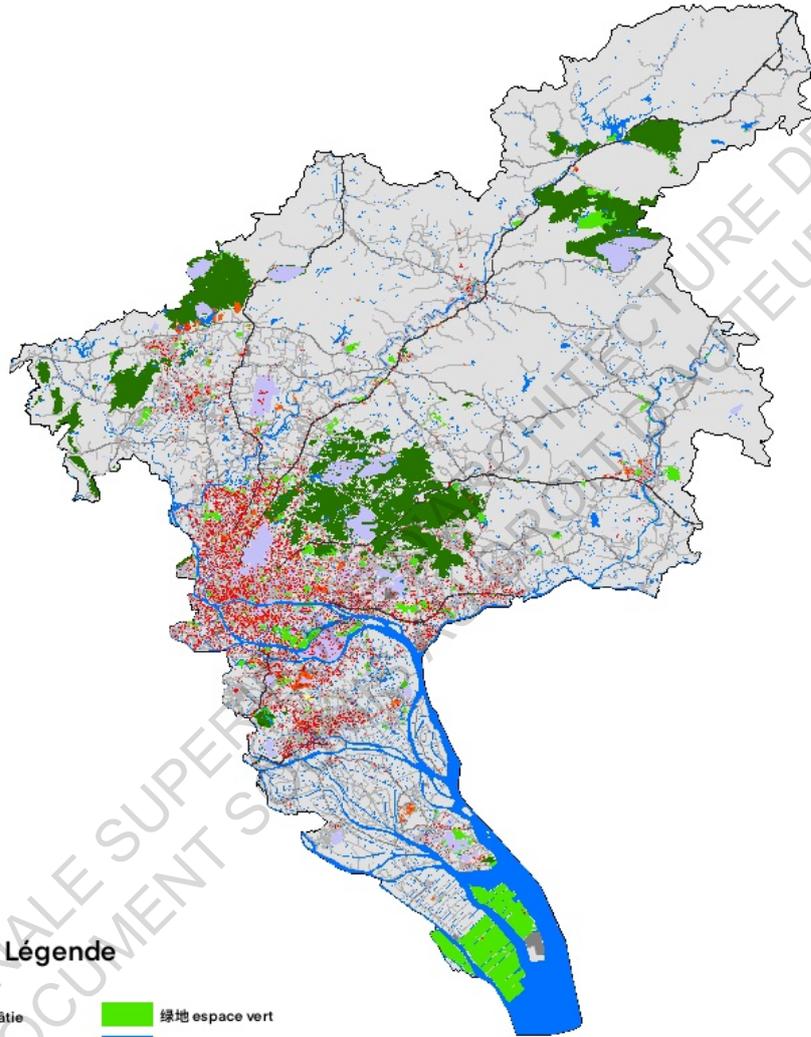


Figure 38 : Carte de la distribution des surfaces imperméables à Guangzhou en 2015

广州市2021年土地利用现状

Utilisation des sols à Guangzhou en 2021



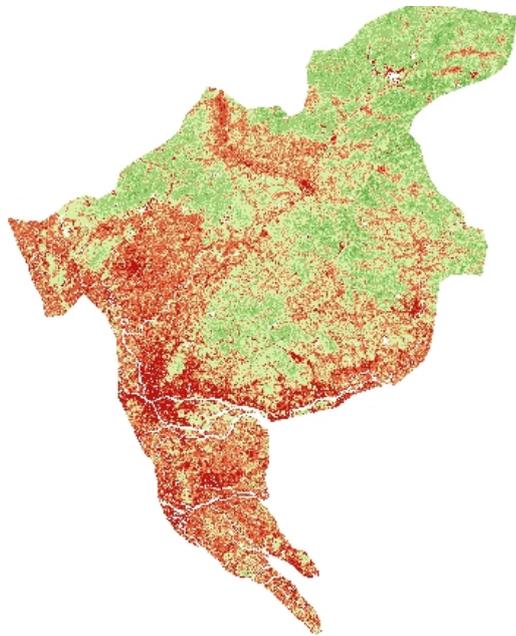
图例 / Légende

- | | |
|--|--|
| ■ 建筑 zone bâtie | ■ 绿地 espace vert |
| ■ 住宅区 zone résidentielle | ■ 水系 système fluvial |
| ■ 功能区 zone fonctionnelle | — 国道 routes nationales |
| ■ 工业区 zone industrielle | — 市区一级道路 routes primaires urbaines |
| ■ 商业区 zone commerciale | — 省道 routes provinciales |
| ■ 林地 forêt | 广州市 Guangzhou |

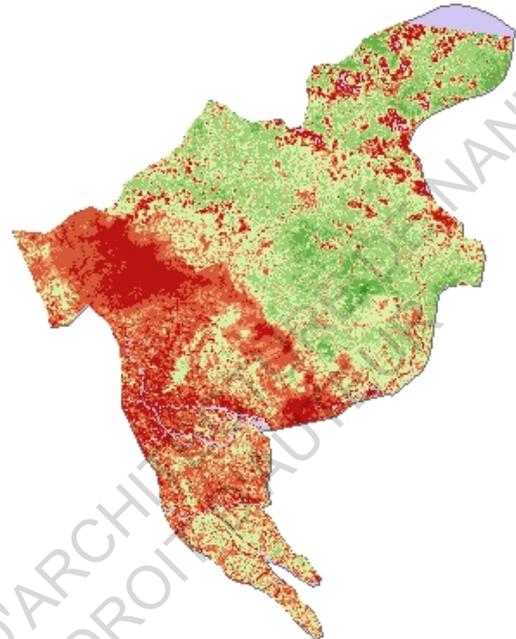
0 3.5 7 14 21 28 Miles

Figure 39: Utilisation des sols à Guangzhou en 2021

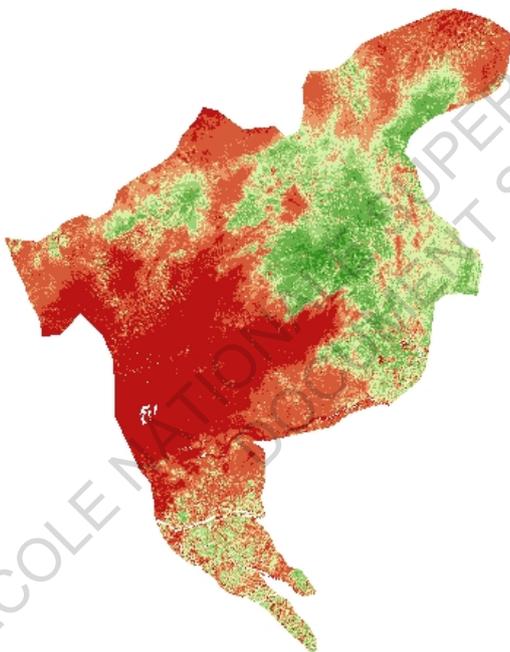
D'ailleurs, les données de couverture végétale (Landsat_NDVI) fournies par (Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020) ont été utilisées pour faire la cartographie sur la couverture végétale à Guangzhou au cours des deux dernières décennies. Donc nous pouvons avoir un aperçu de déplacement et de l'empiètement induit par l'étalement urbain sur la surface terrestre naturelle.



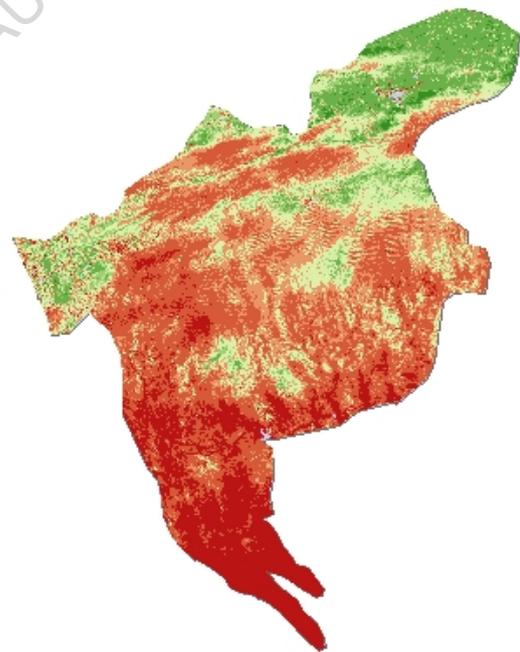
L5-TM-122-044-19951239-LSR-NDVI



L5-TM-122-044-20100918-LSR-NDVI



L8-OLI-122-044-20151103-LSR-NDVI



L8-OLI-122-044-20181127-LSR-NDVI

Figure 40 : Changements dans la couverture végétale à Guangzhou

Dans l'article de (CHEN et al. 2021) se concentre sur la croissance des terrains bâtis à Guangzhou pendant une période de vingt ans et produit résultats de cartographie suivante. Nous pouvons observer sur le graphique que la vieille zone urbaine, composée des districts de Liwan, Yuexiu, Haizhu et Tianhe, est le centre de l'expansion et s'étend vers l'extérieur. Les zones de la carte où l'urbanisation est rapide et où les zones bâties se développent à un rythme élevé sont essentielles et comme un clé pour l'étude de la désimperméabilisation. Cette carte correspond aussi aux résultats de l'effet d'îlot de chaleur et de la couverture terrestre ci-dessus.

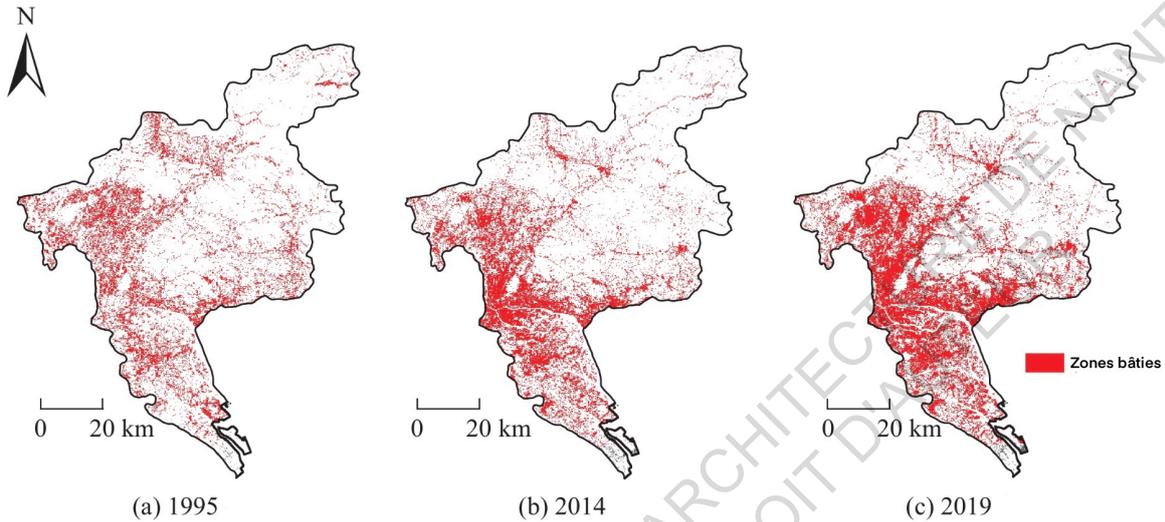


Figure 41 : Changements des terrains bâtis à Guangzhou entre 1995 et 2019 (CHEN et al. 2021)



Figure 42 : Schéma de la division administrative de Guangzhou (Le gouvernement populaire municipal de Guangzhou, 2014)

V. La sélection de sites à Guangzhou pour la désimpermeabilisation

Sur la base des résultats de la cartographie désimpermeable précédente, et en tenant compte de la méthodologie utilisée à Narbonne pour mettre en œuvre le projet de désimpermeabilisation, nous avons d'abord dû effectuer une sélection de sites à Strasbourg, et aussi à Guangzhou. Avec une superficie de la zone administrative près de 7 500 kilomètres carrés à Guangzhou, nous avons besoin de combiner les conseils de plusieurs côtés pour définir les paramètres et les exigences de sélection. Après cette série de conditions et de filtres, nous avons pu obtenir certains sites pour simuler la mise en œuvre et l'actions de la désimpermeabilisation.

1. Les critères de sélection de sites à Guangzhou

Au départ, nous voulions baser notre sélection selon le zonage de Guangzhou, mais étant donné que les zones présentant l'imperméabilisation de terrain le plus important, la distribution de surfaces imperméables et de zones bâties la plus dense, et l'effet d'îlot de chaleur le plus significatif sont concentrées dans la vieille ville, nous nous sommes concentrés sur la zone centrale combinée par les districts Liwan, Yuexiu, Haizhu et Tianhe quand nous faisons le processus de sélection. Également, le district de Nansha, au sud de la ville, a attiré beaucoup d'attention, comme un centre du développement futur de Guangzhou pour la construction de la baie de Guangdong-Hong Kong-Macao. C'est pourquoi le district de Nansha est inclus dans notre sélection.

Cependant, cette approche a rapidement révélé ses inconvénients. Tout d'abord, Liwan, Yuexiu, Haizhu et Tianhe sont les zones les plus imperméables et les plus construites, cela signifie également que cette zone est si densément construite que l'espace disponible pour les opérations est coupé par les bâtiments tassés, qui apparaissent dispersés et fragmentés. Donc c'est moins possible de réaliser systématiquement les travaux de désimpermeabilisation.

Deuxièmement, certaines de ces zones sont densément peuplées et très fréquentées, et compte tenu de la nature de leur activité, il serait difficile de suspendre les heures d'ouverture pour réaliser les travaux de rénovation de désimpermeabilisation.

Troisièmement, dans le district de Nansha, par exemple, comme les résultats de la cartographie ci-dessus, cette zone est une vaste plaine alluviale avec un risque fort de tassement des sols mous et, comme une zone est encore de développement, il y a de nombreux projets sont en train de construction. C'est difficile de prévoir la situation du sol lorsqu'ils seront terminés. Et C'est aussi irréaliste de recommander le concept de "remplacement des surfaces imperméables par des surfaces perméables" pour les projets qui viennent d'être achevés. En fait, cela semble mieux que les opérations de désimpermeabilisation et les équipements d'éponges soient intégrées au processus de construction en même temps.

L'approche de la sélection des sites a donc été adaptée et reconsidérée. La première était basée sur la couverture végétale du terrain. Nous n'avons pas donné la priorité aux zones ayant une couverture verte suffisante, par exemple la cité universitaire ou les campus universitaires de Guangzhou: le campus Wushan de l'Université de technologie de Chine du Sud et l'Université Sun Yat-sen sur la rivière des Perles. Ces campus sont vastes et ont une composition sociale simple, composée d'étudiants et des personnels enseignants. Donc c'est relativement facile de faire les opérations de désimpermeabilisation, mais compte tenu de l'importante couverture végétale des campus et en fait que l'Université technologique de Chine du Sud est située près de la montagne Baiyun, en termes d'effets d'îlot de chaleur, on observe plutôt une tendance à des températures relativement basses. Même situation pour la cité de l'université Sun Yat-sen, où de nombreuses plantes vertes sont plantées et où l'emplacement adjacent au réseau d'eau de la rivière des Perles, c'est plus difficile de réaliser les actions de désimpermeabilisation.

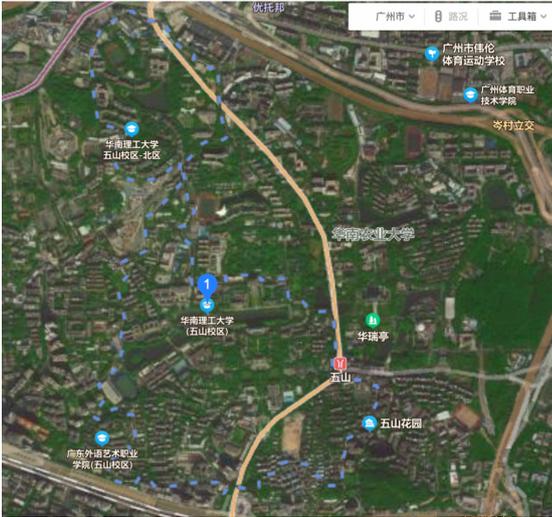


Figure 43 : Image de télédétection du campus Wushan de l'SCUT. (Baidu Map)

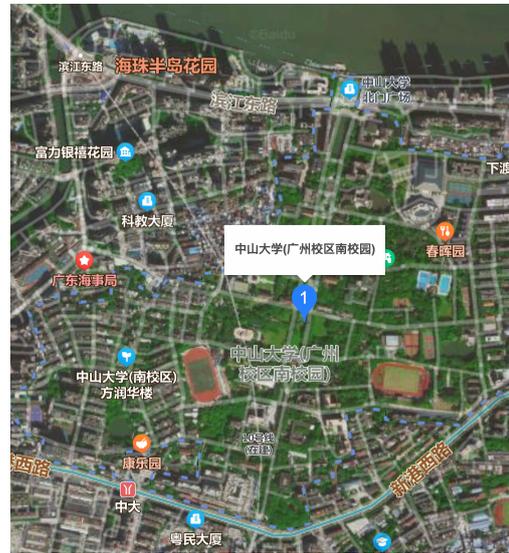


Figure 44 : Image de télédétection du Campus Sud de l'Université Sun Yat-sen (Baidu Map)

Également, l'excès n'est pas approprié. La présence d'un grand nombre de zones de villages urbains à Guangzhou, c'est aussi une caractéristique unique du processus d'urbanisation de la Chine. (Xu Jin-yong, 2010) Au cours des 30 années de Réforme et Ouverture, la Chine a vu émerger plusieurs zones économiques métropolitaines, telles que le delta du fleuve Yangtze, le delta de la rivière des Perles et la bordure de la mer de Bohai. Les zones bâties de ces régions s'étendent rapidement et s'étalent vers l'extérieur, donc les banlieues, qui étaient auparavant situées dans les zones périurbaines, ont soudainement été intégrées à la zone urbaine et entourées de gratte-ciel.

Ces zones présentent toutes les mêmes caractéristiques : des bungalows de faible hauteur, proches les uns des autres, un aménagement chaotique et un environnement sale. Guangzhou abrite une poignée de villages urbains, qui ont souffert de leur impact négatif et des entraves au nouveau processus de planification urbaine. Comment synchroniser ces villages avec le développement global et avec la planification future de la ville, comment faire la désimpermeabilisation pour ces produits typiques de l'urbanisation chinoise, et comment adopter l'idée de désimpermeabilisation ou les villes éponges dans le processus de leur rénovation et de leur nouvelle construction. Tout sont des questions auxquelles les urbanistes doivent répondre et aussi relativement important pour la recherche.

Dans cette optique, nous avons choisi le marché Fangcun, auparavant, il s'agit d'un marché pour les fleurs, les poissons, les oiseaux et les autres animaux et végétaux, qui s'est développé à partir d'un village urbain et puis qui a été démoli et rénové en 2020 afin d'améliorer l'environnement et de réglementer la construction (Figure 45) le nouvel emplacement après le déménagement. Des problèmes se posent, à partir desquels il est facile de constater que, premièrement, même après avoir quitté la zone dense et chaotique, les hangars où se trouve le nouveau site semblent réguliers et standards, mais sont encore étroitement disposés. Ce qui laisse très peu d'espace ouvert pour commencer l'opération de désimpermeabilisation; deuxièmement, même en tenant compte de leur surface de toit, il est difficile pour une structure aussi simple de hangars de supporter le poids d'un toit vert, et une telle surface de toit vert pourrait nécessiter une nouvelle planification globale. En outre, si l'on considère que la zone vient de terminer sa démolition et sa rénovation en 2020, il sera difficile de réaliser une autre opération de rénovation majeure et à grande échelle à court terme.

Pour d'autres villages urbains, qui sont souvent regroupés et dont beaucoup sont constitués de bâtiments anciens ou non conformes, s'il faut créer de l'espace pour la désimpermeabilisation, il peut s'agir d'un projet majeur qui nécessite une approche holistique et à long terme, donc peut être c'est difficile à réaliser pendant une période courte et dans le cadre de notre stage.



Figure 45: Nouvelle adresse du marché Fangcun à Guangzhou (Google Map)



Figure 46 : Village urbain près du marché Fangcun, Guangzhou (Google Map)

D'ailleurs, nous avons considéré la rue piétonne Shangxiajiu dans le district de Liwan pour sa "représentativité" et sa "typicité". Les bâtiments ici sont principalement des Qi-Lou, un style d'architecture très caractéristique de Lingnan. Les bâtiments hérités du siècle dernier en font un quartier historique emblématique. Cependant, au cours de nos discussions ultérieures, nous avons réalisé que, premièrement, il était complexe de trouver un équilibre entre la protection des bâtiments historiques et la désimperméabilisation. Deuxièmement, en tant que centre commercial, cette zone connaît une forte affluence de piétons, donc c'est pas facile de faire le démarrage des activités. Enfin, les bâtiments très rapprochés



Figure 47: La rue piétonne ShangXiaJiu, Guangzhou (La rue piétonne ShangXiaJiu, Wikipedia)

manquent d'espace ouvert pour les opérations de désimperméabilisation, et la zone du toit, qui est un bâtiment historique, c'est trop ancienne et utilisés depuis longtemps, donc c'est difficile d'ajouter un toit vert à une telle structure porteuse.

En conclusion, nous voulions sélectionner des zones où les surfaces naturelles sont peu nombreuses, où le couvert végétal est faible et où les surfaces imperméables sont prédominantes. Tout en veillant à ce que la densité de construction ne soit pas trop élevée afin de disposer d'un espace ouvert suffisant pour réaliser l'opération de désimperméabilisation. En conjonction avec les résultats de la cartographie, les zones présentant des effets d'îlot de chaleur importants ont été sélectionnées. Sur les zones avec un risque de tassement du sol mou, d'effondrement et d'inondation ont été évitées. En outre, étant donné que le réseau d'eau de la rivière des Perles traverse la ville, nous devons éviter les zones adjacentes à la rivière ou à ses

affluents, ainsi que les zones où la distribution des eaux souterraines est dense et suffisante, afin de réduire la difficulté à la désimperméabilisation. Ensuite, certains facteurs humains doivent être pris en compte en même temps, dans la mesure du possible, les quartiers typiques et représentatifs doivent être choisis, et les différents emplacements choisis doivent correspondre à autant de fonctions différentes que possible, telles que : résidentiel, bureaux, commerces, loisirs, etc. afin de rendre le choix plus diversifié.

2. Introduction pour les sites choisis

Dans le cadre des contraintes ci-dessus, nous avons fait les choix suivants.

V.2.A. Jiahui Plaza

Le premier point est le Jiahui Plaza, situé à la frontière entre Guangzhou et Foshan, à l'écart du centre-ville et entouré de zones résidentielles et d'une école, qui propose des fonctions de restauration et de divertissement aux habitants de la zone résidentielle. Le périphérique de Guangzhou se trouve immédiatement à gauche. Et puis il y a une pépinière au sud-est, avec une petite zone ouverte entourée de bâtiments.

En comparant les résultats de la cartographie de l'effet d'îlot de chaleur avec la carte de base fournie par OpenStreetMap, on observe que l'effet d'ICU est important par rapport à la zone environnante et la capacité d'infiltration du sol est faible (coefficient d'infiltration inférieur à 0,1).

Une petite partie du parking est engazonnée, mais le reste est plutôt une surface imperméable en béton. En outre, il existe de nombreuses surfaces de pavage imperméables autour du centre commercial.

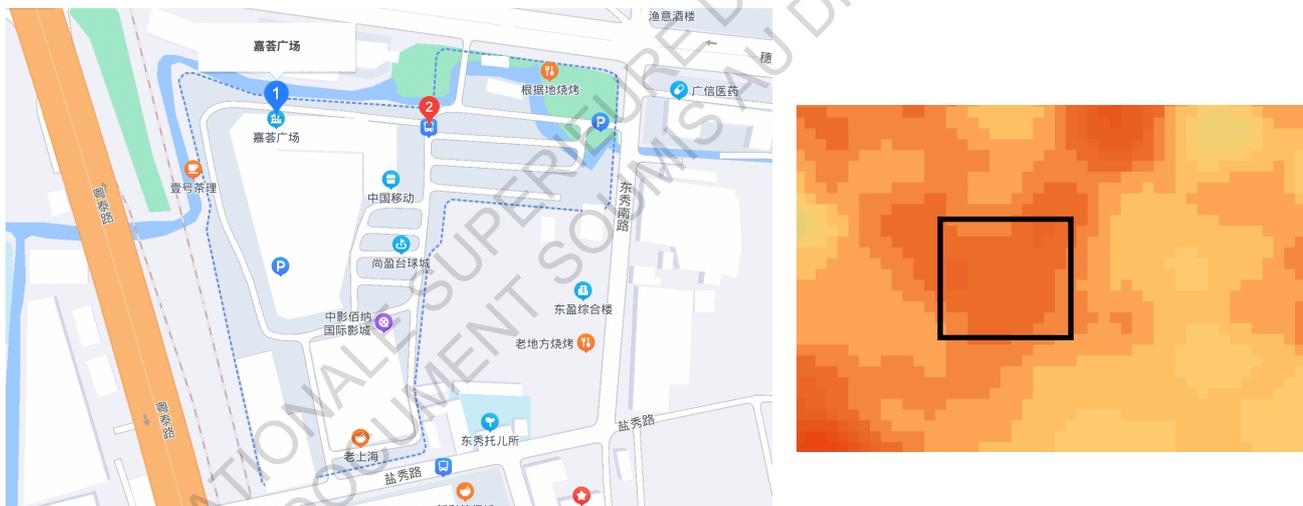


Figure 48: Jiahui Plaza à la frontière entre Guangzhou et Foshan (Baidu Map) et son effet d'îlot de chaleur (à droite)

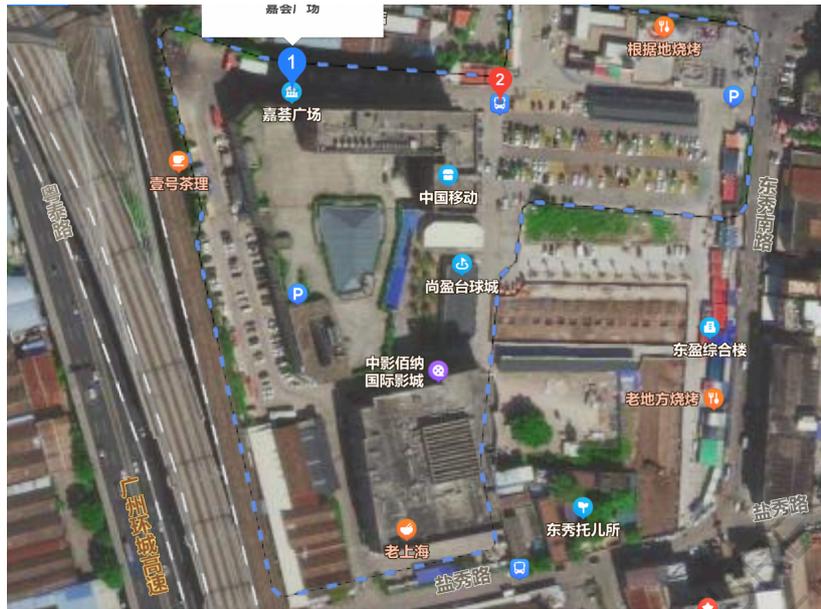


Figure 49: Image de télédétection du Jiahui Plaza (Baidu Map)

V.2.B. Un quartier commercial industriel du design technologique

La zone est dominée par des entreprises technologiques (par exemple, Xie Sheng Building, Dongxinda Computer Technology Development Co., Ltd, Science and Trade Centre et d'autres entreprises technologiques). Et il y a aussi des espaces résidentiels autour de la zone.

Ce quartier a un effet d'ICU important par rapport à la zone environnante, avec un coefficient d'infiltration des précipitations de 0,1 à 0,2. Cette zone est principalement utilisée pour les employés de bureau, avec de nombreux véhicules garés le long de la route. Sur les espaces verts, ils se présentent surtout sous la forme d'arbres en bordure de route. Il y a un petit jardin au centre du quartier, qui est peu planté et dans un état moins qu'idéal.

Comme nous le mentionnerons plus tard, l'un des aspects les plus délicats ici est qu'il semble y avoir un parking souterrain sous ce petit jardin, mais comme c'est difficile de l'identifier clairement à partir de la carte satellite et nous manquons d'informations plus détaillées, nous réserverons notre opinion et les activités ciblent la zone du bord de la route.

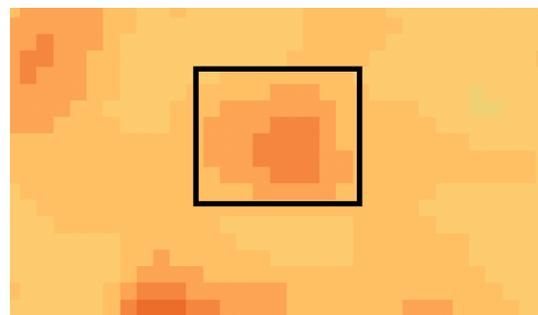


Figure 50: Un quartier commercial industriel du design technologique (Baidu Map) et sa situation d'ICU (à droite)



Figure 51: Image de télédétection du quartier commercial industriel du design technologique (Baidu Map)

V.2.C. La cité MaHui d'ameublement de la maison

Il est situé dans le district de Tianhe, au cœur de la ville. Malgré encore sa proximité avec le parc de la rivière des Perles, l'effet d'îlot de chaleur est toujours évident.

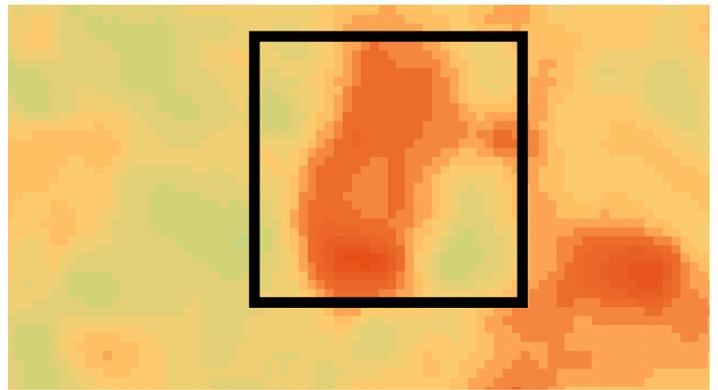


Figure 52: La cité MaHui d'ameublement de la maison (Baidu Map) et sa situation d'ICU (à droite).

La zone est dominée par diverses zones sportives telles que des courts de tennis, des terrains de basket et des terrains de golf (Figure 53).

Pour ces zones sportives, compte tenu de leurs exigences fonctionnelles, nous devons prendre en compte les exigences des propriétés spécifiques de la surface lors de la mise en œuvre de la désimperméabilisation. Ce site nécessite des considérations supplémentaires et peut être difficile à appliquer aux mesures communes dans les zones sportives.



Figure 53: Image de télédétection de la cité MaHui d'ameublement de la maison (Baidu Map)

Cependant, il existe de nombreux parkings dans les environs, dont certains sont à la disposition des utilisateurs du terrain de sport. En plus de cela, certaines centres de vente ou de réparation de voitures sont à côté de la rue, il y a donc beaucoup de surface imperméable pour le stationnement des véhicules, ce qui permet de réaliser des opérations de désimperméabilisation.

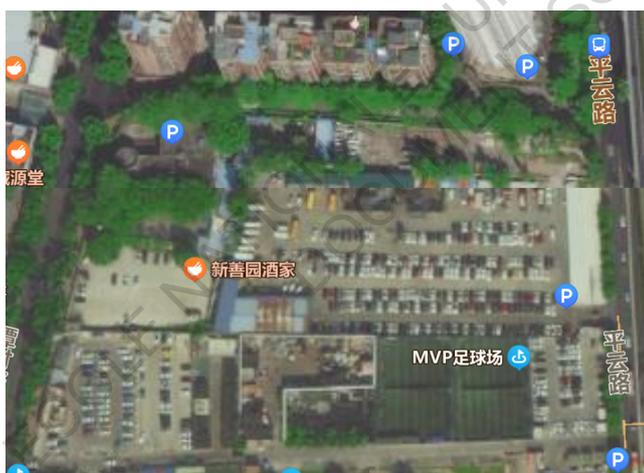


Figure 54: Zone de stationnement près de la cité MaHui d'ameublement de la maison, Guangzhou (Baidu Map)

VI. Solutions fondées sur la nature et mesures potentielles pour la désimperméabilisation

Après avoir terminé la sélection des zones potentielles pour la désimperméabilisation à Strasbourg et Guangzhou, nous devons approfondir et affiner les mesures de mise en œuvre pour mettre en pratique le contenu et les objectifs dans les documents d'orientation.

Comme mentionné dans la section précédente, il existe des similitudes et des différences entre les méthodes du LID et BMP au Royaume-Uni et aux États-Unis, aussi les villes éponges qui sont en cours de développement en Chine. Nous allons collecter, résumer et synthétiser les diverses pratiques avant d'envisager d'autres tâches localisées de la désimperméabilisation pour Strasbourg et Guangzhou.

(Urban Renewal and Land Preparation Bureau of Longgang District, 2021) publie un rapport sommaire de la réunion entre le ministère chinois des Ressources naturelles et l'Union internationale pour la conservation de la nature (The International Union for Conservation of Nature, UICN) . Dans le rapport de la conférence à Pékin, les deux côtés définissent les solutions basées sur la nature (NbS) comme des actions permettant de protéger, de gérer durablement et de restaurer la nature et les écosystèmes modifiés, de répondre et de s'adapter efficacement aux défis sociaux, et de contribuer au bien-être humain et aux bénéfices de la biodiversité. Le ministère des ressources naturelles, en collaboration avec l'UICN, a sélectionné conjointement dix cas représentatifs de la Chine comme référence pour les pratiques typiquement.

Le rapport (Urban Renewal and Land Preparation Bureau of Longgang District, 2021) a également déclaré lors de la conférence que les solutions fondées sur la nature sont hautement compatibles avec le concept de civilisation écologique en Chine et constituent un moyen efficace de le promouvoir. Dans le nouveau processus d'urbanisation du futur, l'accent est mis de plus en plus sur le retour au thème de la nature, ce qui oblige la Chine à intégrer les différents concepts, normes, recommandations et expériences internationales émergentes représentées par NbS dans le contexte local et à les appliquer activement à la construction et à la rénovation urbaines en Chine.

Dans la version chinoise de la norme mondiale pour les solutions fondées sur la nature (NbS) (UICN, 2021), produite conjointement par le ministère des ressources naturelles et l'UICN, les huit lignes directrices suivantes sont proposées.

- Une NbS doit répondre efficacement aux défis sociétaux
- Une NbS doit être conçu en fonction de l'échelle
- Une NbS devrait entraîner une augmentation nette de la biodiversité et de l'intégrité des écosystèmes.
- Une NbS devrait être économiquement viable
- Une NbS doit être fondée sur des processus de gouvernance inclusifs, transparents et autonomisants.
- Une NbS doit fournir un compromis équitable entre les objectifs primaires et les multiples autres avantages.
- Une NbS doit être gérée de manière adaptative et sur la base de preuves.
- Une NbS doit être durable et intégrée dans les zones administratives appropriées.

Sur ces huit lignes, et en conjonction avec des actions efficaces dans des concepts tels que le LID, BMP et les villes éponges, nous avons résumé une variété d'outils et de mesures génériques pour des solutions basées sur la nature (NbS).

1. Solutions résumées par les Solutions Fondées sur la Nature et autres idées similaires

Nous avons recueilli près de dix méthodes d'action courantes de NbS, mais nous sélectionnerons seulement les plus importantes ou celles qui doivent être appliquées à Strasbourg et Guangzhou par la suite.

Il faut noter que dans le rapport, pour chacune des méthodes de NbS, nous devons donner une description conceptuelle, un schéma, les avantages et les limites, les exigences techniques pour la construction et l'infrastructure, les opérations de maintenance quotidienne et la fréquence, etc. En ce qui concerne les coûts, comme la norme des coûts des matériaux et de la construction varie d'une région à l'autre, seule une référence peut être donnée dans la mesure du possible, le montant exact dépendra de la situation locale.

VI.1.A. Pavage perméable

Le premier moyen, le plus simple, est d'innover en termes de matériaux. Les revêtements perméables sont, en résumé, des revêtements qui permettent au eau pluviale et eaux de ruissellement de s'infiltrer dans le sol. Ils sont de différents types, soit des matériaux poreux, soit des dalles alvéolaires, soit les pavés interloqués perméable de différents matériaux.

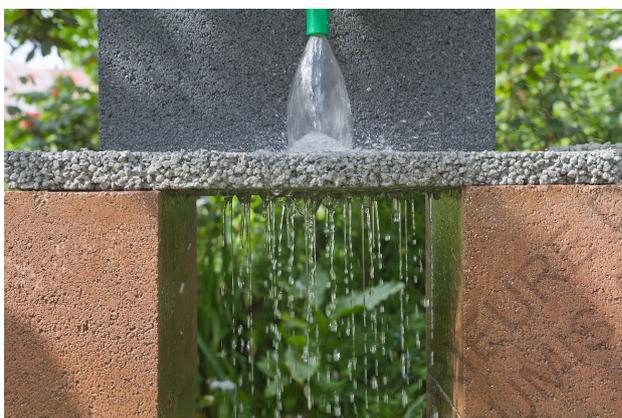


Figure 55 : Pavage perméable - milieu poreux (Wikipedia)



Figure 56 : Pavage perméable - Treillis de graminées (illustré par une image web)

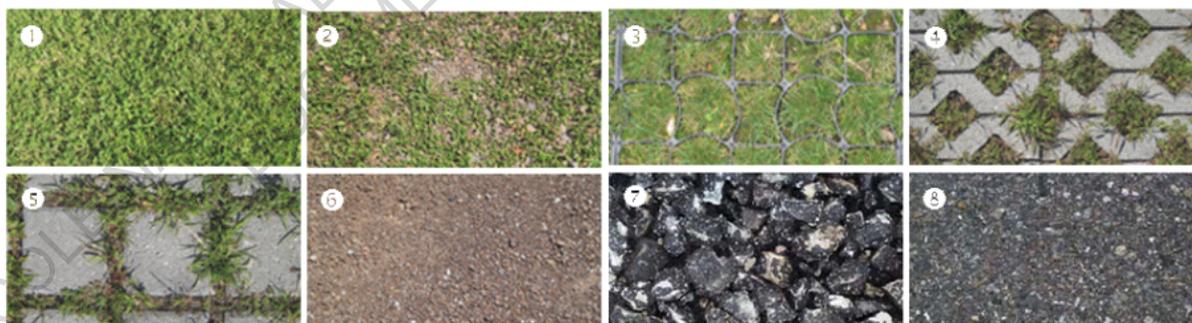


Figure 57 : Différents types de pavés perméables (Prokop et al. 2011)

1. Gazon, 2. Mélange terre pierre, 3. Dalles alvéolées en plastique, 4. Dalles alvéolées en béton, 5. Pavés joints larges, 6. Béton poreux, 7. Asphalte poreux, 8. Asphalte

Selon l'article de (Wang Dong-sheng, 2019), la structure conventionnelle de la chaussée peut être grossièrement divisée en couches suivantes, nous avons esquissées sur la base du texte (Figure 58) - couche de surface, couche de fondation, couche de sous-fondation et couche d'assise.

(Wang Dong-sheng, 2019) La couche de surface, c'est à dire la couche la plus superficielle de la structure de la chaussée, qui est la zone où les forces externes agissent directement et de manière répétée, notamment la circulation et certains facteurs naturels tels que la lumière du soleil, les précipitations et les neiges. Par conséquent, la couche de surface a des exigences élevées en matière de résistance, de rigidité, de tenue à l'abrasion, de stabilité thermique et d'une série de performances. Habituellement le béton, le ciment, l'asphalte et d'autres matériaux imperméables sont choisis. Ainsi que nous devons remplacer cette partie, comme le matériau d'asphalte poreux, afin de réaliser la désimperméabilisation en même temps pour répondre au caractéristiques "haute résistance, haute rigidité, bonne tenue à l'abrasion et de bonnes performances thermiques" présentés exprimées par les matériaux traditionnels.

(Wang Dong-sheng, 2019) La couche de fondation au milieu doit supporter la pression transmise par les couches supérieures et répartir les forces sur la structure en dessous. Elle est requise en termes de résistance, de ténacité et de rigidité. Les matériaux utilisés pour construire la couche de fondation sont principalement des matériaux granulaires, tels que le gravier et le sable.

(Wang Dong-sheng, 2019) Plus bas dans la structure, on trouve la couche de sous-fondation et la couche d'assise. La sous-fondation est conçue pour s'adapter aux performances de la structure et doit normalement être légèrement plus épaisse que la superstructure afin de respecter l'épaisseur de compactage. Les exigences en matière de matériaux pour cette couche sont moins strictes et les matériaux granulaires stabilisés au ciment et les sols stabilisés à la chaux sont généralement choisis.

(Wang Dong-sheng, 2019) En tant que couche la plus basse de la structure de la chaussée, la couche d'assise sert la fonction d'isolation, de drainage et de protection contre le gel. Les exigences de stabilité à l'eau et d'isolation thermique sont donc plus élevées et les matériaux couramment utilisés sont des granulés en vrac et des matériaux monolithiques.

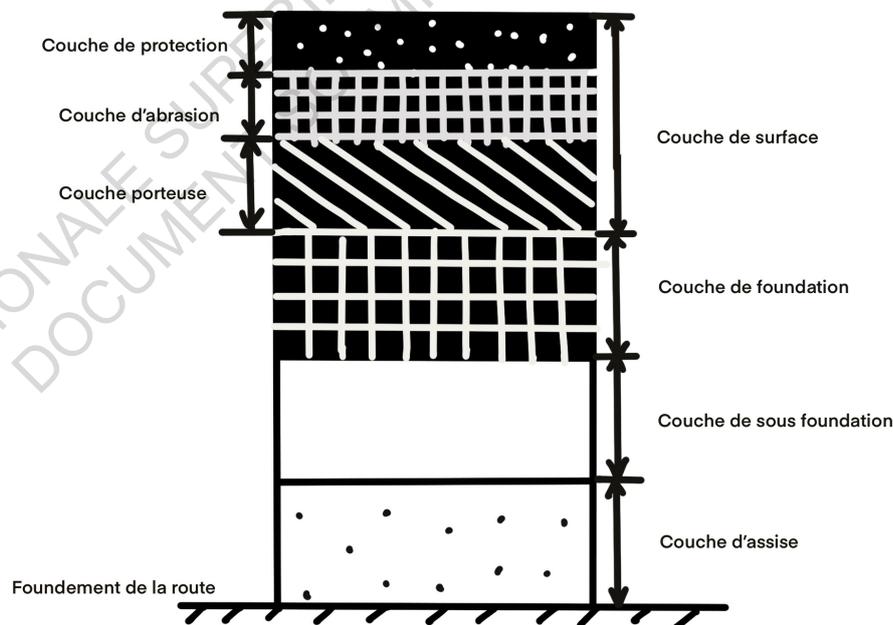


Figure 58 : Schéma de la structure habituelle des chaussées en Chine

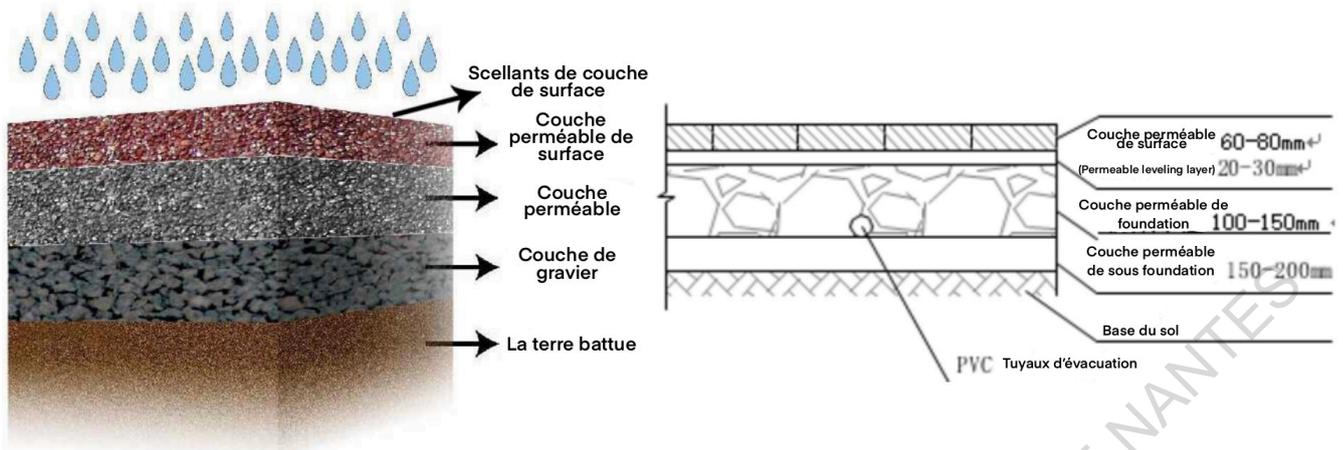


Figure 59 : Schéma de la structure d'un pavage perméable (GBWINDOWS, 2020)

La structure du pavage perméable est présentée ci-dessus. Il convient de noter que pour les différents types, elle est modifiée en conséquence. Les demandes ne sont pas identiques et relatives à l'épaisseur des différentes couches varient en fonction des normes de construction de chaque ville. Par exemple (Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019), les norme d'évaluation pour la construction des routes en éponge à Shenzhen exigent comme suivants:

- Les dalles perméables sont souhaitables pour la couche de surface des chaussées.
- Le béton de ciment perméable ou l'asphalte perméable devraient être utilisés pour la couche de surface des pistes cyclables
- Le béton perméable ou l'asphalte perméable avec une couche de surface perméable peuvent être conçus pour les chaussées non-lourdes ; le revêtement imperméable doit être utilisé pour les chaussées lourdes.
- Le type de pavage est sélectionné sur demande pour les zones ayant des exigences particulières en matière de pavage.

(GBWINDOWS, 2020) Les avantages des pavés perméables sont évidents : par exemple, la reconstitution des nappes phréatiques, la réduction des ruissellement de surface et de l'engorgement des sols, la réduction du bruit de la circulation dans une certaine mesure grâce aux pores de matériaux poreux, etc. Mais en cas de fortes pluies et d'inondations, la nappe phréatique plus élevée peut empêcher l'eau de pluie de s'infiltrer à travers un pavage perméable, c'est à dire lors de la mise en œuvre d'un pavage perméable, nous devons porter un jugement en fonction de l'intensité des pluies locales, de la fréquence des précipitations, de la topographie et d'une série d'autres facteurs, comme le contenu dans le rapport de (Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019). "La conception du temps d'évacuation des eaux de pluie pour l'infrastructure de la ville éponge routière doit être déterminée par l'acceptation du public, les caractéristiques des plantes et le taux d'infiltration du sol ; si cela ne peut être déterminé, 24 à 36h sont appropriées". Et il précise: "les revêtements perméables ne sont pas adaptés lorsque la nappe phréatique ou la couche imperméable a une profondeur inférieure à 0,5m".

En outre, l'installation de pavés perméables dans des zones plus polluées nécessite une considération plus approfondie, car les polluants peuvent pénétrer dans le sol avec la couche perméable, ce qui entraîne des conséquences plus graves.

(Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019) indique ce problème: " Lorsque la perméabilité du sous-sol est supérieure à $5 \times 10^{-5}m/s$ ou la nappe phréatique est située à moins de 1,0 m du fond de la couche

d'assise perméable, et la route se trouve dans une zone fortement polluée, une couche de filtre à sable doit être prévue sur la partie inférieure des trottoirs perméables, des pistes cyclables et des ceintures vertes.."

Dans le même temps, l'entretien courant des pavés perméables pose quelque problème. Après un certain temps d'utilisation, les pores du média peuvent être piégés par des débris ou d'autres contaminants et nécessitent un entretien régulier. Pour les pavés perméables sous forme de dalles alvéolées ou les autres, le compactage répété par les véhicules et les piétons lors de l'utilisation peut avoir un impact sur la végétation, nécessitant un entretien régulier ou une replantation. Le coût de ces entretiens fait également partie du coût des installations de pavage perméable et doit être à prendre en compte.

VI.1.B. Noues, jardin de pluie et bassins de biorétention

Ces types d'installations sont relativement similaires dans leur principe, c'est pourquoi ils sont introduits ensemble.

Les équipements de biorétention, par exemple, désignent des installations qui réservent, infiltrent et purifient les eaux de ruissellement grâce à un mécanisme où le sol, la végétation et les systèmes microbiens travaillent ensemble. Les bassins écologiques d'arbres, les noues enherbées, les jardins de pluie et les bassins de biorétention varient en termes de forme et leur manifestation selon l'échelle du projet. (Guangzhou Water Authority et al. 2017).

Parmi celles-ci, les noues enherbées et les bassins écologiques d'arbres sont des installations relativement simples, qui sont des rigoles peu profondes recouvertes de verdure en bordure de route pour collecter, transporter, évacuer et purifier les eaux de ruissellement.

Les jardins de pluie sont l'infrastructure de gestion durable et d'utilisation des eaux pluviales. Ce sont principalement des espaces verts artificiels à faible relief où le ruissellement et les eaux pluviales peuvent être collectées et réutilisées pour recharger les eaux souterraines et améliorer l'environnement écologique par l'action combinée du sol et de la végétation (ZHAO Yan, 2021).

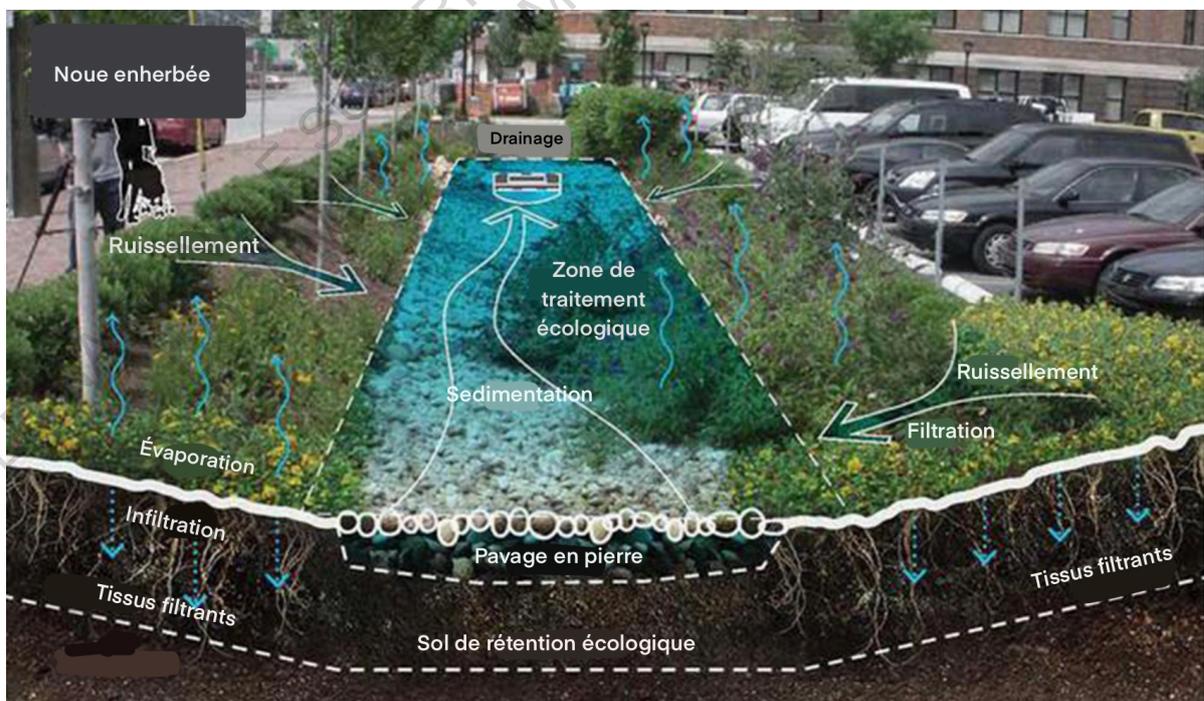


Figure 60 : Schéma de la structure d'une noue gazonnée (image tirée de Baidu.com)



Figure 61 : Schéma de la structure du bassin de biorétention (Kingwei, 2020)

Pendant le processus de construction, plusieurs aspects méritent notre attention : le remplissage de l'installation de biorétention, la végétation qu'elle utilise et la nécessité d'une bande filtrante dans la situation de la pollution locale.

Le remplissage de biorétention est axé sur la perméabilité du matériau, la capacité de rétention d'eau et le coût (ZHANG Zhao-xin, JIANG Chun-bo et al, 2020). Pour le premier paramètre, la perméabilité du matériau, (Coustumer, Fletcher, Deletic et al. 2012) ont fait une étude d'un point de vue hydraulique, lorsque la charge hydraulique augmente, ils observent que la perméabilité passe par trois processus, d'une diminution très rapide, à une stabilisation progressive puis à une diminution rapide. L'étude de (Jay, Brown, Kurtz et al. 2017), quant à elle, s'est intéressée à l'effet de différentes proportions du contenu sur la perméabilité : 60%-80% de sable, 5%-10% de matière organique et moins de 5% d'argile, ce qui permet une meilleure perméabilité de l'installation de biorétention, tout en prenant en compte la question du coût. Concernant la capacité de rétention d'eau du matériau, (GAO, 2014) étudie l'effet de différents types d'amendements sur ses performances, et affirme : "L'ajout d'amendements tels que la vermiculite, le sol turfique (Turfy Soil in English) et la perlite peut améliorer efficacement la rétention d'eau du remplissage. Et cette capacité affecte directement le stockage d'eau et les conditions de croissance des plantes. "

Le choix de la végétation pour les installations de biorétention doit atteindre plusieurs conditions: la végétation doit pouvoir s'adapter à la sécheresse et aux situations d'inondation de courte durée. Et, lors de la sélection, la priorité doit être donnée aux types de végétation locaux. De plus, la fonction des installations de biorétention doit avoir une certaine capacité d'abattement de la pollution en plus d'infiltration. Par conséquent, la distribution de différents types et hauteurs de végétation doit être prise en compte afin de maximiser l'effet d'abattement de la pollution.

(Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019) a proposé la structure d'un jardin de pluie qui doit comprendre : des parties d'entrée, une couche de stockage de l'eau, une couche de paillage (5-10cm, avec des feuilles fanées et des branches mortes), une couche de sol, des plantations, une couche de filtre à sable, une

couche de drainage souterrain et des installations de débordement. En cas de mauvaise hygiène routière, il convient de construire de petits dispositifs de prétraitement et de mettre en place une couche de filtre à sable de 15 à 30 cm sous la couche de sol.

(Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019) Les propriétés du sol et les exigences de composition des couches de sol sont présentées dans le tableau.

Paramètres	Condition
Coefficient d'Infiltration	$3 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5} \text{m/s}$
pH	5.5 ~ 6.5
Teneur en Matière Organique	4% ~ 5%
Argile	< 10%
Sol Sableux	30% ~ 55%
Sol en poudre	35% ~ 60%

Tableau 3 : Exigences des normes de construction pour les jardins de pluie proposées par (Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019)

(Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019) classe les types de jardins de pluie en deux catégories : simple et amélioré. En particulier, les jardins pluviaux simples doivent avoir un coefficient d'infiltration du sol supérieur à $4 \times 10^{-6} \text{m/s}$, avec une profondeur de la nappe phréatique et de la couche imperméable > 1m. Tandis que pour les jardins améliorés, la valeur doit être > 0,7 m (Guangzhou Water Authority et al. 2017).

(Guangzhou Water Authority et al., 2017) Le document de construction de la ville éponge à Guangzhou comprennent des réquisitions pour les noues enherbées, qui doivent être disposés le long du sol durci avec une profondeur de 200-500mm et une largeur de pas plus de 1000mm. Les noues enherbées de type captage ont une profondeur de 200-500mm et une largeur de pas moins de 1500mm.

Ce document indique aussi les situations dans lesquelles les dispositifs de biorétention sont adaptés et dans lesquelles ils doivent être évités (Guangzhou Water Authority et al. 2017) :

De manière générale, ils sont installés dans les zones où la source de ruissellement est générée, notamment les ceintures vertes, les parkings, les zones proches des bâtiments denses, etc. Et ils sont souvent placés dans des zones à faible trafic pour éviter les charges et le compactage excessifs. Mais ils ne sont pas applicables à les zones dont la pente du sol est supérieure à 20 %. Et on doit souligner que la pratique consistant à déterrer des arbres matures afin de construire des dispositifs de rétention n'est pas soutenue.

Shenzhen est adjacente à Guangzhou, ces deux villes sont à l'avant-garde du développement du bassin de la rivière des Perles et sont extrêmement similaires en termes de facteurs humains, sociaux et naturels tels que le climat, la population, la situation géographique et la construction urbaine, etc. Malgré encore il peut y avoir quelques divergences dans les exigences spécifiques, mais l'expérience et les fichiers de Shenzhen peuvent aussi fournir une certaine valeur de référence. (Les détails se trouvent dans le document et ne seront pas répétés ici).

Quant au coût de la construction, plusieurs aspects sont à prendre en compte : l'entretien quotidien du dispositif de biorétention, le coût de sa remise en état après de fortes pluies, et le budget pour la démoustication parce que ce milieu aquatique est souvent propice à la reproduction des moustiques (Rector et al. 2012) .

VI.1.C. Parking écologique

Plutôt que d'être une initiative séparée de gestion des eaux pluviales, l'éco-parking semble être davantage un résultat de l'intégration de plusieurs approches, une combinaison de pavés gazonnés, de dispositifs d'éco-détente, de noues et d'autres moyens.

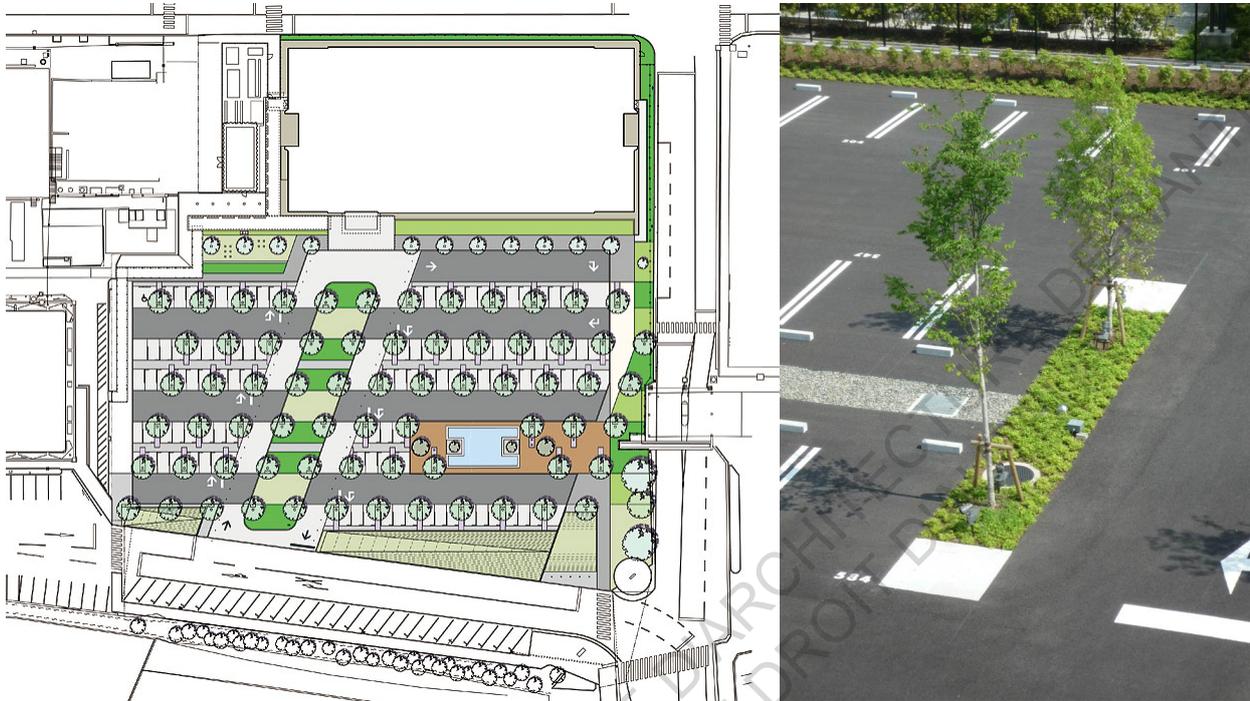


Figure 62 : Schéma d'une zone d'éco-parking à Fukuoka, Japon
(PLATdesign, 2011)

D'une part, l'éco-parking perméable répond aux visions de l'infiltration naturelle et améliore le microclimat ; d'autre part, les arbres plantés offrent de l'ombre aux véhicules garés, surtout en été, et procurent une protection contre le soleil. En outre, sa durée de vie est supérieure à celle des parkings traditionnels.

Cependant, il y a encore des limites : par exemple, pour garantir des zones perméables et des zones vertes, il faut réduire une partie de l'espace de stationnement, donc c'est pas très adapté pour les zones de stationnement qui sont fréquemment utilisées et à fort trafic. Et puis il faut tenir compte de la pollution, pour les zones polluées, il peut y avoir des contaminations qui s'infiltrent dans le sol avec les eaux de pluie et le ruissellement. En cas comme ça, une couche filtrante est nécessaire.



Figure 63 : Schéma de l'ouverture de la bordure (Guangzhou Water Authority et al. 2017)

D'ailleurs, pour les aires de stationnement, (Guangzhou Water Authority et al. 2017) souligne que "dans les zones à forte imperméabilité, telles que les routes et les parkings, des ouvertures de bordure doivent être prévues."

Plus de exigence détaillée est donnée à ce sujet, par exemple, les ouvertures de bordure doivent être dotées de dispositifs d'abattement de la pollution et de l'érosion. Pour les zones dont la pente longitudinale est supérieure à 4 %, le nombre d'ouvertures de trottoir doit être augmenté, etc.

L'éco-parking, en général, il s'agit d'une combinaison des dispositifs de biorétention mentionnés ci-dessus, des pavés perméables, etc. Alors les avantages, les inconvénients et les exigences de construction ne sont pas répétés ici.

Puis (Guangzhou Water Authority et al. 2017) considère et résume toutes les performances des différentes méthodes en termes d'économie, d'applicabilité et d'effets paysagers et les autres aspects.

2. Recommandations pour la mise en œuvre de la désimperméabilisation à Guangzhou

Dans le support de la section précédente, nous faisons des recommandations pour la sélection des sites à Guangzhou en ce qui concerne la désimperméabilisation.

VI.2.A. Jiahui Plaza



Figure 64 : Schéma de la zone de stationnement (N°1) du Jiahui Plaza
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map)

Nous avons divisé ce quartier en plusieurs zones comme le schéma. La partie orange étant le parking et la partie rouge étant l'espace ouvert imperméable où les opérations de désimperméabilisation peuvent être effectuées.

Comme indiqué ci-dessus, pour le parking de gauche, qui est distribué linéairement, l'espace est limité et un accès doit être préservé, afin de mettre en œuvre la désimperméabilisation tout en sauvegardant l'espace de stationnement, nous avons utilisé notamment des pavés perméables et de petits bassins écologiques d'arbres entre les places de stationnement, sans grands dispositifs d'éco-rétention.

La proximité de cette zone avec l'autoroute implique de prendre en compte les questions de bruit et de pollution. Sur le côté proche de la route, il est proposé de planter de grands arbres pour atténuer le bruit et, en

même temps, faire de l'ombre aux véhicules garés. En raison de la position, d'une part des filtres antipollution sont nécessaires et d'autre part, comme expliqué dans (Guangzhou Water Authority et al. 2017), les mesures d'imperméabilité indispensables doivent être prises pour prévenir les dommages à la résistance et la stabilité de la surface de la route et la fondation routière causés par l'infiltration des eaux pluviales et le ruissellement.

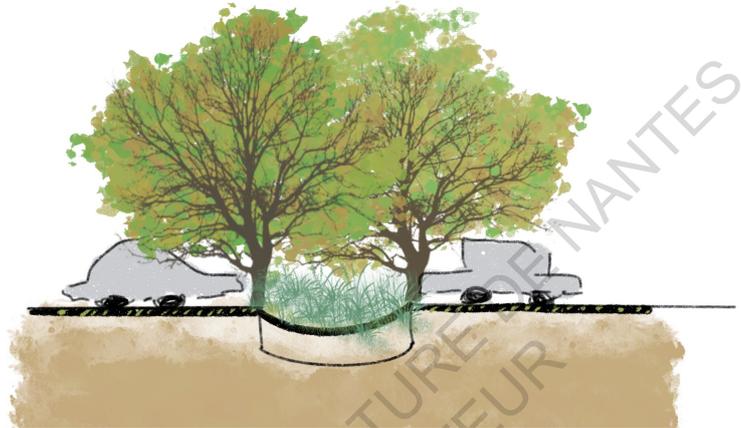


Figure 65 :Schéma de la zone de stationnement (N°2) du Jiahui Plaza
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map) /
Schéma du noue gazonnée entre les places de stationnement



Figure 66 :Schéma de la zone de stationnement (N°2) du Jiahui Plaza
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map) /
Schéma d'éco-parking

Le parking de droite, en revanche, est plus grand, plus ouvert et plus concentré, donc peut être considéré comme une manière plus globale, systématique et combinée, par exemple, l'éco-parking, pour faire la désimperméabilisation. Cela comprend un revêtement perméable dans l'espace de stationnement, des dispositifs d'éco-détente des deux côtés et des noues gazonnées au milieu. Dans ce cas, bien sûr, il est essentiel d'examiner comment la pollution sera réduite avant l'infiltration. Outre le fait que la plupart de cette zone environnante est occupée par des restaurants, nous devons intégrer l'application multifonctionnelle du site dans le processus de conception. Nous devrions explorer en profondeur la façon de créer de nouvelles connexions et interactions avec les piétons, les consommateurs, les utilisateurs et ainsi de suite, en plus de l'utilisation du parking.



Après



Original

Figure 67 : Schéma de la crèche Dongxiu du Jiahui Plaza
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map)

Dans le coin inférieur droit du quartier se trouve une crèche, qui est petite et entourée de bâtiments. Nous faisons référence à un projet similaire à Paris, également dans les écoles, qui est basé sur une stratégie de résilience et vise à rendre l'espace scolaire plus "vert" en fournissant plus d'espaces naturels, plus de végétation, de meilleurs dispositifs de traitement des eaux de pluie, plus d'aires de jeu et, dans une période de canicule constante, en créant des espaces plus frais, plus confortables et plus proches de la nature pour les enfants.



Figure 68 : Le projet "Les Cours Oasis" (Ville de Paris et al. 2022) à Paris dans les écoles

En ce qui concerne ce projet, nous voulions un espace vert plus frais, plus calme et plus agréable offrir dans ce coin pour les enfants de la crèche, leur donnant ainsi l'occasion de se rapprocher de la nature.

Il est toutefois difficile de déterminer si l'on peut accéder aux bâtiments environnants et à ce terrain vague, sur Baidu Map, on ne peut pas observer les images satellites plus claires ni d'informations plus précises. De plus, pour éviter l'impact sur les fondations causé par une trop grande proximité avec le bâtiment, comme le montre le plan, nous suggérons une manière plus simple pour faire la désimperméabilisation, par exemple les arbres en bordure de route dans la zone adjacente au bâtiment pour fournir un espace d'ombre.

À l'instar du projet Oasis à Paris, une "île oasis" a été créée dans le centre pour offrir un espace aux activités des enfants. Afin qu'une meilleure infiltration des eaux de pluie et une proximité avec la nature, nous proposons l'utilisation du sol nu ici, de panneaux en bois ou des autres matériaux perméables. D'ailleurs, pour une meilleure connectivité, les sentiers dispersés comme suivants ont été créés, avec des planches de bois et des canaux de drainage au-dessus, de sorte que l'eau de pluie accumulée puisse s'infiltrer naturellement dans le sol nu au fond.

En outre, l'"île oasis" est entourée d'arbustes et de cours d'eau, créant ainsi un espace relativement indépendant ici. Les cours d'eau peuvent être purifiés par l'eau de pluie collectée et ensuite circuler, tandis que la verdure et l'eau donnent aux enfants l'occasion d'entrer en contact avec la nature et de l'apprendre à la connaître.



Figure 69 : Schéma de la crèche Dongxiu du Jiahui Plaza
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map) /
Schéma de la passerelle en bois

La dernière zone ici s'étend devant le centre commercial. Le problème est que ces surfaces imperméables ne sont pas sous une forme régulière et concentrée, il est donc difficile de structurer une unité de traitement des eaux pluviales holistique, systématique et à grande échelle. En outre, la désimperméabilisation doit être mise en balance avec la nécessité d'un accès pour les utilisateurs. Selon le fichier publié par (Guangzhou Water Authority et al. 2017), ces places doivent faire appel à de petites équipements décentralisés tels que des pavages perméables, des installations de biorétention et des noues gazonnées pour dissiper les eaux pluviales et le ruissellement. Et les eaux pluviales et le ruissellement qui pénètrent dans l'espace vert doivent être prétraités à l'aide de bassins de sédimentation, etc., afin d'éviter qu'elles ne provoquent une pollution et des dommages à l'environnement.

Il est important de noter qu'étant donné que cet endroit se trouve à la frontière entre Guangzhou et Foshan, il ne s'agit pas d'une zone centrale très fréquentée, très animée, avec relativement peu de circulation piétonne à servir. La rentabilité de désimperméabilisation dans cette zone devrait être envisagée, avec une approche à faible coût, facile à exploiter et à entretenir, plutôt qu'une construction coûteuse et étendue.

VI.2.B. Un quartier commercial industriel du design technologique

Cette zone est un peu difficile de définir. À partir de l'image de télédétection fournie par Baidu Map, nous ne pouvons pas dire s'il y a un espace souterrain ici. Mais si c'était vrai, la construction des installations de désimperméabilisation peut être épineux à mettre en œuvre à cause de problèmes tels que la couche structurelle de la route étant trop mince et le risque d'effondrement en raison de la surcharge de l'espace souterrain.

Par conséquent, pour cette zone, nous considérons principalement l'espace de stationnement le long de la route. Un nouveau problème se pose alors, à savoir que ces espaces sont trop finement dispersés et ne peuvent être traités que de manière décentralisée et à petite échelle, par exemple, avec quelques bassins verts écologiques, des noues gazonnées et des pavés perméables, etc.

VI.2.C. La cité MaHui d'ameublement de la maison

La cité MaHui d'ameublement de la maison est située au cœur de la ville, à côté du Pearl River Park, et elle a un effet d'îlot de chaleur important.

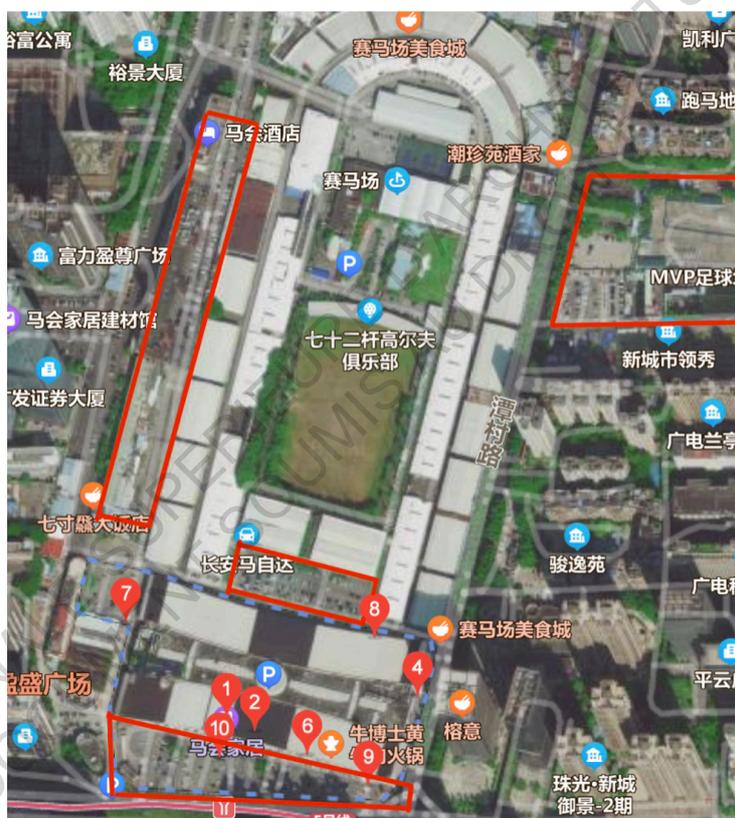


Figure 70: Schéma de la cité MaHui d'ameublement de la maison
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map)

Ce site est utilisé comme terrain de sport et est parsemé de nombreux points de vente ou de réparation de voitures. Pour les points de sport, en raison des exigences particulières des terrains de sport en général, aucune considération ne sera donnée. Nous nous concentrons sur les espaces de stationnement environnants ou les espaces ouverts imperméables.

Ainsi, le site sera divisé en plusieurs parties, et nous allons détailler les deux plus grandes zones à gauche et à droite. Pour les autres, par exemple, les parkings au milieu qui sont plus petits, on se référera au contenu sur un parking écologique ci-dessus et on ne fera pas de répétition. Toutefois, il convient de noter que pour garantir l'espace de stationnement, mais aussi compte tenu de la superficie pour les parkings au milieu ne pas très grande, plus le fait qu'il s'agit de certaines entreprises de vente de voitures, les coûts de construction et

l'entretien quotidien doit être pris en compte. Il est recommandé que l'opération de désimperméabilisation soit réalisée de manière simple, comme le remplacement par un pavage perméable, ou de petite dispositifs.

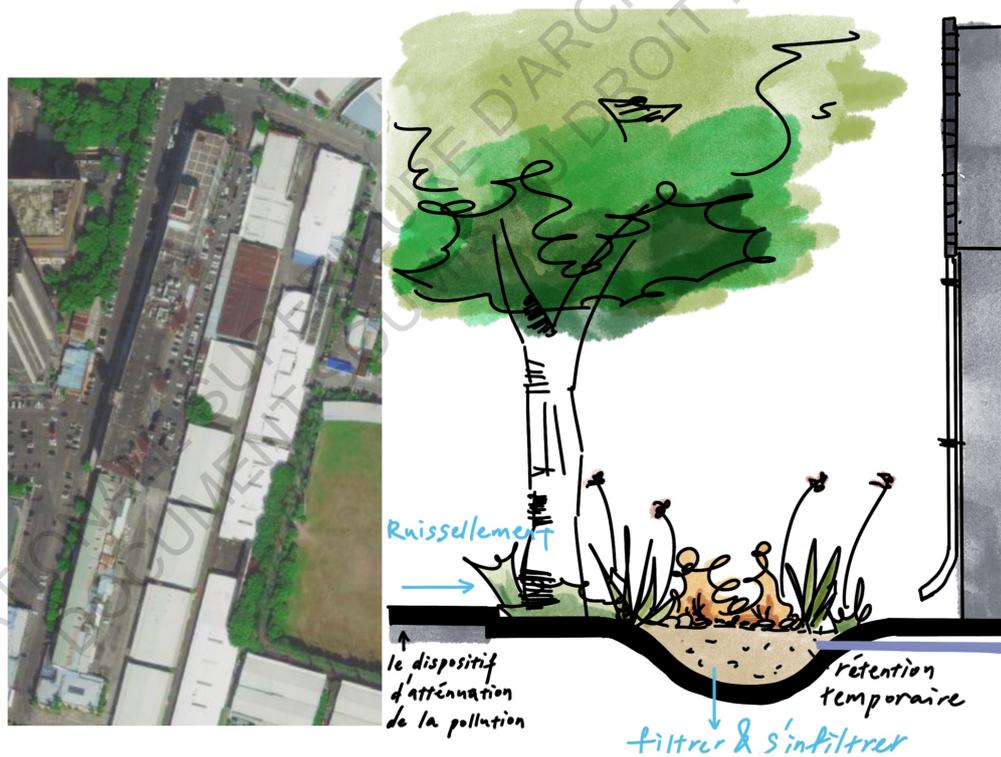


Figure 71 :Schéma de la zone de stationnement (N°1) de la cité MaHui
d'ameublement de la maison
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map) /
Schéma d'une noue gazonnée à côté du site

Concernant la zone de stationnement linéaire à gauche, se référer à l'aire de stationnement similaire dans la section précédente de Jiahui Plaza. Mais on doit indiquer il y a une légère différence ici: ce parking est beaucoup plus étroit et la désimperméabilisation doit être effectuée tout en garantissant l'accès. Par conséquent, au lieu d'un grand bassin de rétention écologique ou d'un jardin pluvial, seulement une noue longitudinale a été conçue entre le bâtiment et l'espace de stationnement. Cette zone est plus proche des bâtiments situés de part et d'autre, et comme le parking peut contenir des polluants qui peuvent s'infiltrer avec les eaux de pluie, une filtration et atténuation est nécessaire avant que celles-ci ne soient rejetées dans le milieu naturel. En outre, à cause de la proximité du bâtiment, l'eau de pluie qui s'accumule dans l'installation peut être acheminée vers le système de drainage.

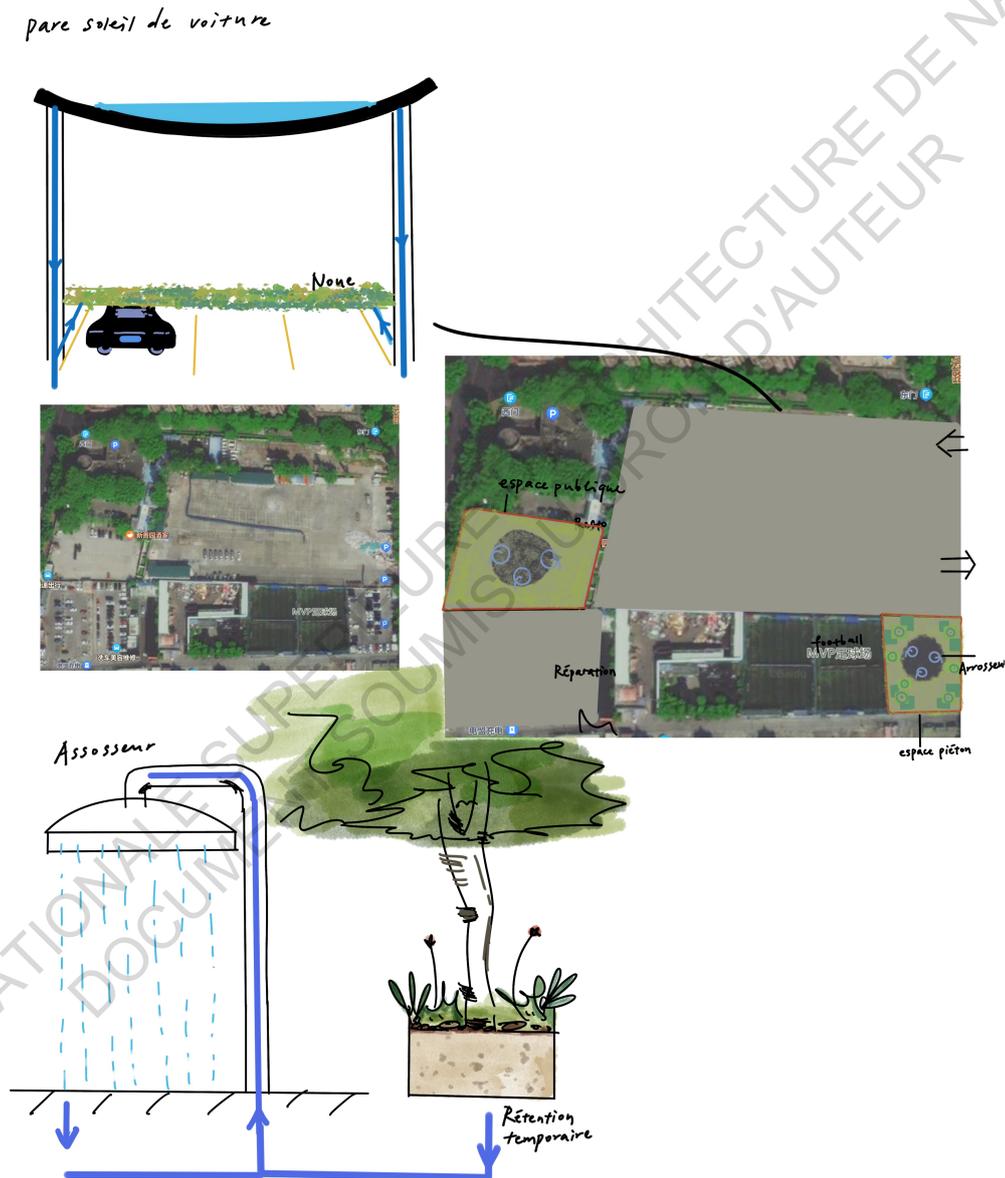


Figure 71 :Schéma de la zone de stationnement (N°1) de la cité MaHui
d'ameublement de la maison
(Carte de bas provenant par l'image de télédétection sur Baidu Map) /
Schéma des dispositifs de désimperméabilisation

L'espace de stationnement et l'espace ouvert imperméable près du terrain de football MVP à droite peuvent être réintégrés et planifiés. En raison de la grande taille de la zone, elle peut être divisée selon sa fonction et les aires de stationnement peuvent être regroupées. En outre, les dispositifs de gestion des eaux pluviales plus grands, tels que des jardins de pluie et des bassins de biorétention, peuvent être créés pour offrir aux utilisateurs des espaces ouverts en contact avec la nature. En conclusion, nous nous référons aux produits de (DO ARCHITECTS, 2019) en Lituanie et du pavillon international de l'exposition horticole mondiale de Pékin en 2019 (WEI, 2019).



Figure 73 : (DO ARCHITECTS, 2019) Installation d'eau de pluie dans un espace public à Vilnius, Lituanie.



Figure 74 : Installation d'eau de pluie devant le pavillon international de l'exposition horticole mondiale de Pékin (WEI, 2019)

(DO ARCHITECTS, 2019) Dans le projet en Lituanie, l'humain et l'environnement vert sont au centre des préoccupations et constituent la priorité absolue. Grâce à ces dispositifs, il est possible de rafraîchir le sol et de renforcer le lien entre les personnes et l'environnement. En combinaison avec la tâche de désimperméabilisation, nous suggérons que l'eau pulvérisée par le dispositif "douche" en Lituanie puisse être fournie par d'infrastructure d'éponges de surface ou souterraines, après avoir été purifiée et stockée, puis acheminée par canalisation.

Le dispositif en forme de parapluie dans l'exposition horticole mondiale de Pékin fournira de l'ombre aux piétons tout en remplissant la fonction de collecte des eaux de pluie. (WEI, 2019) Chaque "parapluie" est disposé d'un tuyau d'eau de pluie installé à l'intérieur de la colonne, qui peut être connectés au bassin de captage souterrain et aux dispositifs de collecte d'eau de pluie en surface, ce qui en fait un système d'eau de pluie complet et unifié. L'eau de pluie collectée au sommet est acheminée le long de la colonne vers un système de drainage ou un stockage d'afflux afin de fournir de l'eau pour l'irrigation du jardin ou d'autres activités. Il y a même un câble de fonte de la neige sur le dessus de l'unité parapluie afin que l'unité puisse faire fondre la neige et la glace et stocker l'eau de la neige dans les régions plus froides. Le sommet est équipé d'une membrane photovoltaïque, qui permet de stocker l'électricité en forme d'énergie solaire.

Il convient toutefois de noter que ces installations sont souvent coûteuses et longues à mettre en place, et qu'il faut tenir compte du flux de personnes vers le lieu, de la possibilité de garantir un bon rapport qualité-prix, ainsi que du coût de la maintenance à l'avenir, en équilibrant les coûts et les avantages.

3. Exemples typiques de la désimperméabilisation en Chine, en France et au niveau international

VI.3.A. Chine, Xiamen : Projet pilote de ville spongieuse dans la zone résidentielle de Yangtang

Comme mentionné au début de l'article, la Chine a réalisé de grands et petits projets pilotes de villes éponges à différents niveaux d'échelle administrative. Xiamen étant incluse dans le premier lot de villes éponges pilotes nationales depuis 2015, et réalisant ainsi des travaux de construction.

Ces dernières années, Xiamen a connu certains problèmes en termes de température et de précipitations, tels qu'une hausse constante de la température et une augmentation significative des conditions météorologiques extrêmes. En tant qu'une ville côtière, l'élévation du niveau de la mer est également un problème sérieux. C'est pourquoi l'environnement hydrologique relativement complexe pose des difficultés et des défis pour la construction de villes éponges à Xiamen.

Le rapport (CRR, 2020) définit des objectifs généraux pour la construction d'une ville éponge à Xiamen : par exemple, actuellement, le taux annuel total de maîtrise du ruissellement est de 30 % dans les zones bâties, et d'ici 2030, cette valeur devrait atteindre 70 % dans 80 % des zones bâties. En termes d'utilisation des ressources en eau de pluie, maintenant, le taux d'utilisation est inférieur à 0,5. En 2030, il devra atteindre 3,0. Sur le recyclage des eaux usées, dans les circonstances actuelles, le taux d'utilisation est moins de 1,0 et doit atteindre 30 jusqu'en 2030. Et puis pour la lutte contre les inondations urbaines, la ville est capable de faire face à une crue de 20 ans aujourd'hui, donc en 2030 l'indicateur requiert une situation d'une crue de 50 ans.

En plus, le rapport décrit aussi des objectifs concernant l'effet d'îlot de chaleur urbain, la gestion de l'environnement aquatique et la qualité de l'eau potable.

Sur cette base, nous présenterons en détail un exemple typique de construction de ville éponge à Xiamen - le quartier résidentiel de Yangtang.

La superficie est d'environ 620 000 m² et, en comparant les images de télédétection avant et après l'exploitation, nous pouvons observer qu'après un développement intensif, l'ancienne surface naturelle de sol nu et de terres agricoles a été remplacée par une surface imperméable.



Figure 75 : Comparaison des images de télédétection avant et après le développement de la zone résidentielle de Yangtang (CRR, 2020)

Le ruissellement sera contrôlé par trois manières principales : réduction à la source grâce à l'infrastructure verte, transfert intermédiaire par le réseau de canalisations souterraines et stockage en bout de chaîne via deux lacs artificiels.

(CRR, 2020) Le site a été réaménagé avec 23 775,2 m² de pavés perméables, près de 5 000 m² de zones humides artificielles, environ 11 000 m² de noues gazonnées, presque 7 000 m² de jardins de pluie, 26 600,4 m² de toits verts, des bassins de biorétention, des lacs artificiels, des réseaux de canalisations d'eau de pluie, etc. Le schéma et certaines des installations réalisées sont présentés ci-dessous.

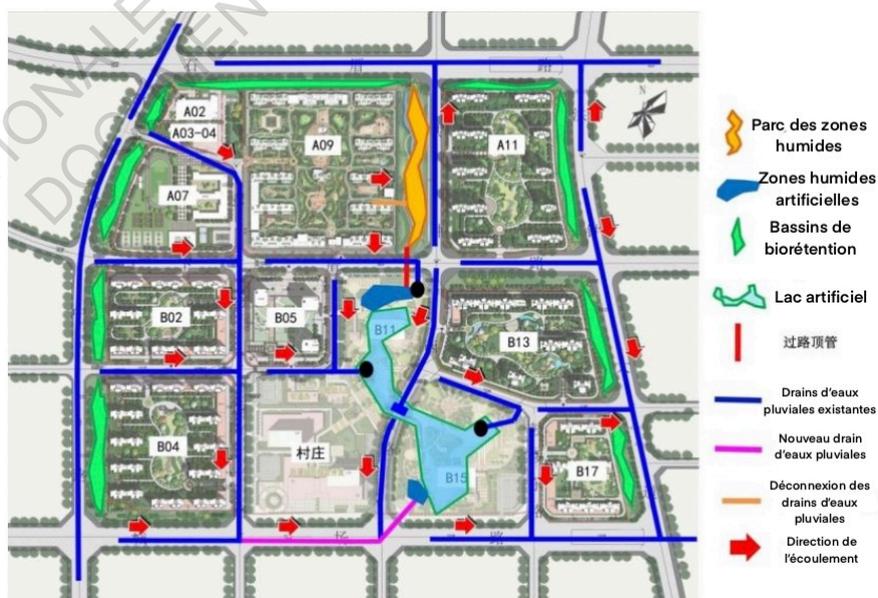


Figure 76 : Schéma de la construction d'une ville éponge dans la zone résidentielle du Yangtang (CRR, 2020)



Figure 77 : Photographies de quelques installations terminées du projet de la ville éponge dans la zone résidentielle de Yangtang (CRR, 2020)

VI.2.B. France, Bagneux : Renouvellement urbain du quartier Victor Hugo

Dans le projet de rénovation du quartier Victor Hugo à Bagneux, une attention particulière a été accordée à la structure spatiale verte et au travail de la désimperméabilisation. Ce projet prévoit la création de la ZAC, le développement des transports et la constitution d'une zone écologique.



Figure 78 : Réseau de trames vertes pour Quartier Victor Hugo à Bagneux (SADEV 94, 2017)

Les objectifs de rénovation proposés (CEREMA, Désimperméabilisation et renaturation des sols, 2020) sont les suivants:

- Réintroduction de la végétation dans l'environnement et zonage par un réseau vert
- Réaffectation des espaces d'activité à des usages multiples
- Améliorer l'habitat et lutter contre l'effet d'îlot de chaleur
- Connexions entre les zones par un "modèles doux"
- Gestion du ruissellement de surface grâce à des espaces verts en creux



Figure 79 : Un jardin partagé du quartier Victor Hugo à Bagneux (SADEV 94, 2017)

Diverses solutions ont été mises en œuvre pour la désimperméabilisation, en gérant le ruissellement de surface par des bassins de rétention, des jardins partagés, des parkings perméables, etc. et en plantant des végétaux bénéfiques pour le sol et le climat. En plus, l'implication des résidents dans le processus de désimperméabilisation est également soulignée.

Les jardins partagés, comme celui présenté ci-dessus, offrent aux citoyens un espace de communication et de sensibilisation aux questions écologiques tout en améliorant la situation des surfaces imperméables.

VI.3.C. Singapour : Système d'eau ABC

Singapour est un petit pays d'Asie du Sud-Est, relativement bien peuplé. Une grande partie de l'eau de Singapour est importée de Malaisie (Legislative Council, 2016) et ses ressources naturelles en eau sont limitées. Bien que le climat tropical fournisse des précipitations abondantes, malheureusement, les cours d'eau de Singapour sont trop courts pour capter suffisamment les eaux de ruissellement et les transformer en eau utilisable et potable. De plus, en tant que ville hautement développée et peuplée, la surface imperméable dense de Singapour entraîne de la pollution, des inondations et des difficultés d'infiltration. Cette série de conséquences rend le défi de l'eau encore plus difficile à relever. En conséquence, les questions relatives à l'eau sont devenues une priorité absolue pour Singapour. (Legislative Council, 2016) Actuellement, outre l'importation d'eau douce de Malaisie, les autres sources principales sont la collecte d'eau de pluie dans les bassins versants locaux, l'eau nouvelle (NeWater), qui désigne l'eau recyclée de haute pureté, et l'eau dessalée.

Dans ce contexte, Singapour a accordé une importance particulière à l'environnement hydrologique et à l'utilisation des ressources en eau. La gestion et l'utilisation efficaces des eaux de ruissellement constituent un thème clé de son développement urbain et de ses constructions futures. En 2006, le Public Utilities Board

(PUB) a lancé le programme ABC pour l'eau, c'est à dire que: " A - Active, B - Beautiful et C - Clean Waters ", où "Active" fait référence à des projets, des installations et des espaces communautaires proches de la nature et de l'environnement aquatique. Le terme "Beautiful" désigne le paysage vert créé par les améliorations apportées à la gestion des eaux pluviales. Le programme "Clean Waters" concerne la gestion, la transformation et la purification des ressources en eau.



Figure 80 : Parc écologique de Jurong (Centre for Liveable Cities of Singapore, 2017)

Par exemple, Jurong EcoPark, le premier éco-jardin de Singapour et le premier parc national situé dans centre-ville, sert de projet pilote pour la technologie d'épuration de l'eau et les caractéristiques de conception ABC.

Autrefois c'est une zone humide naturelle composée de mangroves et de marais d'eau douce, elle a été transformée en zone industrielle. Le développement urbain ayant comblé le lac et créé des terrains. Ce quartier a ensuite été changé en zone résidentielle au fur et à mesure que la population s'y installait, perdant sa surface naturelle et sa riche biodiversité (Centre for Liveable Cities of Singapore, 2017).

Le projet de rénovation s'articule autour du bord du lac, avec un certain nombre de points d'activité qui visent à renforcer le lien entre les gens et la nature. En plus, (Centre for Liveable Cities of Singapore, 2017) pour démontrer la stratégie du plan d'eau ABC, des bassins écologiques de purification et des zones humides de rétention ont été installés pour protéger les éléments naturels du site. Le développement du Jurong Eco Park établit un juste équilibre entre les considérations écologiques et les besoins économiques, et constitue la toute première tentative d'intégration d'un système de gestion des eaux pluviales dans un projet immobilier à Jurong.

VII. Conclusion

1. Importance de la désimperméabilisation pour le développement des villes chinoises

Au cours des trois dernières décennies de réforme et d'ouverture, l'urbanisation de la Chine s'est rapidement développée. Ce processus a conduit à ce que les problèmes liés à l'expansion des surfaces imperméables soient plus accentués et plus importants en Chine. En raison de l'énorme population du pays, le principe "Trop de gens, trop peu de terres" est devenu la situation nationale de base du développement urbain. Et même, une population plus nombreuse signifie une plus grande consommation de terres et de ressources, c'est à dire qu'il faut plus d'espace urbain et la zone bâtie, l'environnement naturel est comprimé et empiété. Les gens construisent en privilégiant le ciment et le béton imperméables pour supporter une plus grande partie des besoins de la population, plutôt que la désimperméabilisation qui rend la terre au vert. Donc c'est plus difficile de mener des activités de la désimperméabilisation en Chine. (ZHAO Rui et al. 2020) étudie la relation entre la densité de population et les modèles d'expansion spatiale urbaine.

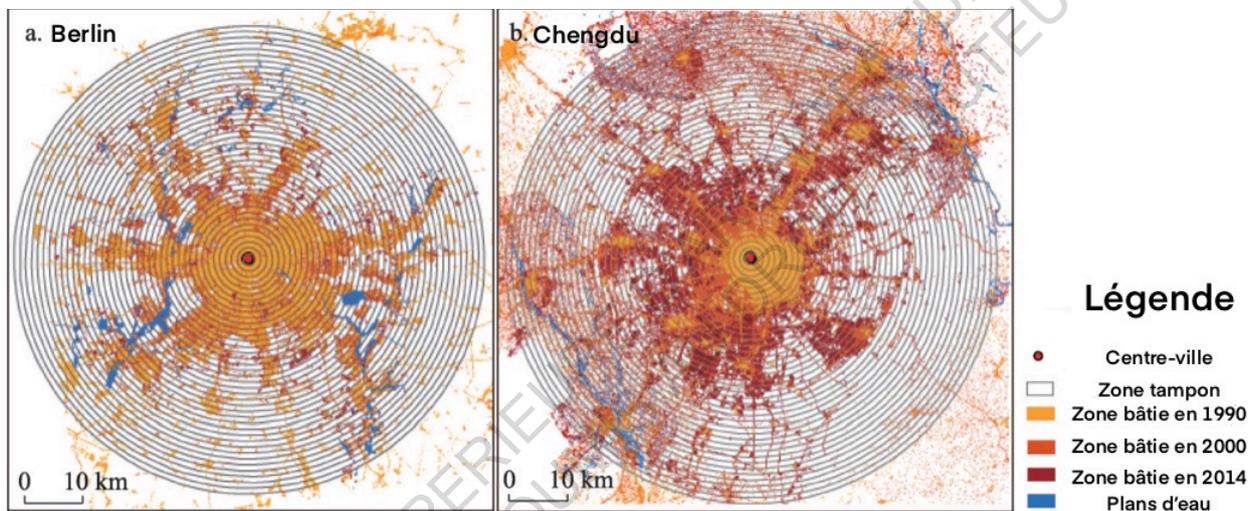


Figure 81 : Comparaison des modèles d'expansion des terrains bâtis entre Berlin, Allemagne et Chengdu, Chine entre 1990-2014 (ZHAO Rui et al. 2020)

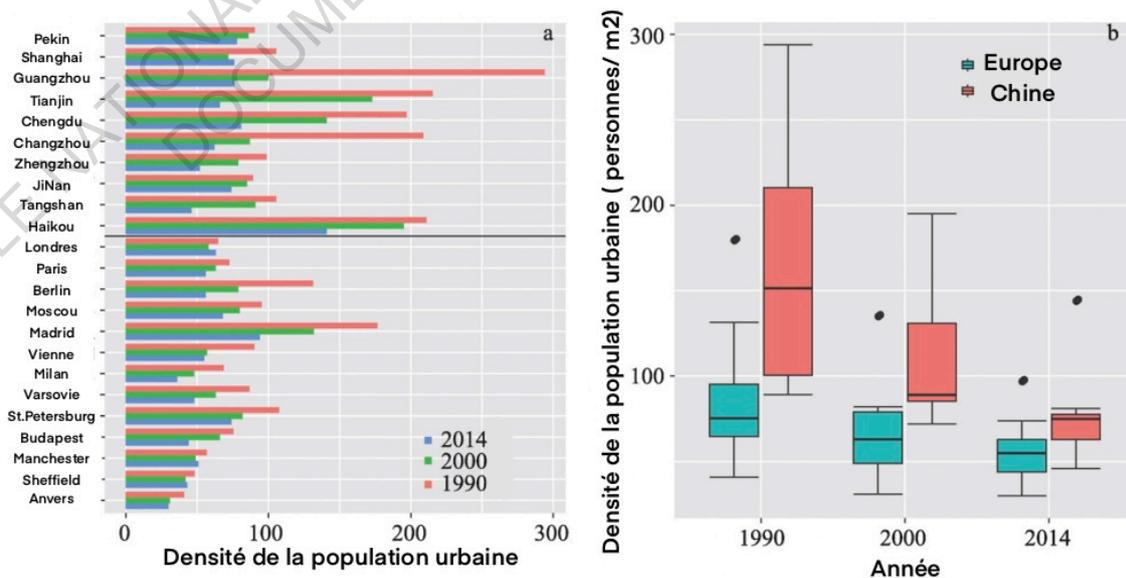


Figure 82 : Évolution de la densité de la population urbaine entre 1990 et 2014 en Chine et en Europe (ZHAO Rui et al. 2020)

Bien que la Chine couvre un large éventail de types de climat en raison de son vaste territoire, elle est située sur le plus grand continent et fait face au plus grand océan, ce qui se traduit par un climat de mousson remarquable. De plus, ses dominants centres économiques et ses zones urbaines importantes sont principalement concentrés le long de la côte sud-est, et certains d'entre eux se trouvent à l'intérieur du continent, dans les bassins des fleuves Yangtze et Jaune. Cependant, les zones côtières sont soumises à des cyclones tropicaux tout au long de l'année, notamment sous la forme de fortes pluies et de typhons. Et les agglomérations urbaines réparties le long d'importants réseaux hydrographiques tels que le fleuve Yangtze et le fleuve Jaune sont également sujettes à des inondations en permanence pour cause des fortes pluies de juillet à septembre dans le cadre du climat de mousson, ce qui provoque l'inondation des bassins, surtout pendant les mois d'été, cela cause des dommages dramatiques à l'économie régionale et au bien-être de la population. Le climat de mousson se caractérise par la simultanéité de périodes chaudes et pluvieuses, ce qui entraîne souvent des chaleurs extrêmes à l'échelle nationale en été. D'après les résultats cartographiques de notre recherche et les autres études citées, il existe une corrélation entre l'extension des surfaces imperméables et l'effet d'îlot de chaleur. Malgré encore cette chaleur extrême ne soit pas le résultat d'un seul facteur, il est indéniable que la surface imperméable qui s'étend sans contrainte contribue à l'apparition de ces conditions météorologiques extrêmes dans une certaine mesure.

En outre, (ZHAO Rui et al. 2020) ont conclu dans leur étude qu'entre 2000 et 2014, la façon de croissance urbaine de la Chine passe d'un modèle compact à un modèle tentaculaire par suite du développement économique et de l'urbanisation. Pour freiner l'étalement urbain, préconiser une meilleure efficacité de l'utilisation des sols: "... encourager l'utilisation mixte des sols, mettre en œuvre la rénovation urbaine et le réaménagement des terres à faible utilité ", etc.

Ainsi, nous pensons qu'avec un modèle d'expansion spatiale urbaine, aussi les conditions climatiques plus sévères, une population plus dense et une multitude d'autres facteurs, la vision de l'amélioration de l'environnement imperméable devient plus urgente en Chine.

2. État actuel de la recherche en Chine

La recherche actuelle sur ce sujet en Chine est davantage axée sur la technique. Par exemple, l'étude précitée de (XU Han-qiu, 2009) a étudié l'influence et la pertinence des surfaces imperméables, des plans d'eau et de la végétation sur la température de surface pour Xiamen. (WANG Wen-chuan et al. 2019) a simulé une crue d'une fois en cinquante ans à l'aide du logiciel Infoworks ICM afin de faire la cartographie sur la distribution des risques d'inondation à Fuzhou. (LI Yu-jie et al. al. 2021) ont analysé un modèle de distribution spatiale de l'effet d'îlot de chaleur à Sanya, etc.

Même dans les études relatives aux surfaces imperméables, l'accent est davantage mis sur les techniques de télédétection: Comment éliminer les erreurs, comment calculer plus précisément la température de surface par la méthode d'inversion, comment identifier et distinguer plus exactement différents éléments tels que les plans d'eau, la végétation et les surfaces imperméables, etc.

La recherche chinoise s'intéresse généralement davantage à la modélisation et à l'analyse de la relation entre les surfaces imperméables et les éléments d'environnement à l'aide de données et de logiciels, préférant traiter ce sujet comme un processus plus dynamique et plus complexe en constante évolution. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les changements spectaculaires du climat ne sont pas le résultat d'un seul facteur, et quel genre de rôle la surface imperméable joue pendant ce processus, quelle est sa fonction exactement, le niveau d'importance de ses rôles et les conséquences si nous ne la contrôlons pas et la laissons se développer sans contrainte. Nous découvrirons que c'est un sujet très complexe si nous l'examinons attentivement: La température, l'intensité et la fréquence des précipitations, la topographie locale, la répartition des eaux souterraines, les formations géologiques, les différents risques géologiques, la répartition du réseau d'eau et bien d'autres facteurs, dont ces conditions naturelles, comme l'eau, sont par nature fluides et dynamiques.

En outre, les informations sur les zones bâties et les surfaces imperméables doivent être affinées - s'agit-il de terrains à usage résidentiel, commercial ou industriel? Quel est exactement le matériau? Quel âge d'utilisation? Quelle est la hauteur du bâtiment? Lorsque des informations détaillées seront disponibles, il sera possible de mener des activités de désimperméabilisation d'une manière plus efficace, plus ciblée et spécifique au site.

Cela nous amène à un autre problème de l'étude chinoise - les données fermées. La confusion, le manque, les erreurs et les incohérences de données dans notre processus de préparation préliminaire ont créé un obstacle majeur à l'avancement de l'étude. L'aide de nombreuses organisations et universités chinoises a également été activement sollicitée dans ce processus, comme notre partenaire, l'Université technologique de Chine du Sud, ainsi que l'Université Normale de Nanjing, l'Université de Wuhan et le Centre d'études Géologiques de Wuhan de la Commission Géologique de Chine, qui ont tous fourni une assistance avec enthousiasme une assistance pour les données dont nous avons besoin. Cependant, il y a toujours des données qui impliquent des problèmes de sécurité, comme les données sur la contamination des sols, auxquelles nous n'avons pas accès, à l'exception des rapports publiés par le Conseil d'État. Bien que cela garantisse la sécurité du terrain et la sécurité de la recherche, mais indubitablement, la fermeture des données pose des difficultés pour élargir les orientations d'étude, améliorer l'efficacité de la recherche et faciliter la communication entre de multiples parties.

3. Résumé de la recherche, limites et pistes d'amélioration

Une vision commune et urgente s'exprime sur les thèmes de l'homme et de la nature, de l'habitat et de la désimperméabilisation en Chine, en France, en Europe et même au niveau mondial. Dans le cadre de ce stage, nous nous sommes intéressés à des villes chinoises et françaises sur le thème de désimperméabilisation. La cartographie de Strasbourg et de Guangzhou a été réalisée en se référant à l'expérience réussie de Narbonne, et les résultats ont été utilisés pour sélectionner les zones potentielles de désimperméabilisation. Sur la base des concepts de LID, BMP, NbS et des autres exemples typiques de réussite dans différents pays, des recommandations sont faites pour les lieux choisis de Strasbourg et Guangzhou.

Il est important de noter que l'étude comporte encore des lacunes et des points à améliorer.

Par exemple, en conséquence du manque de données détaillées et du manque de possibilités de travail au site, par rapport à la situation à Strasbourg, le choix du site de Guangzhou ne peut être proposé que d'un point de vue général et simple pour faire la désimperméabilisation.

Et même, il s'agit d'un sujet multifactoriel, complexe et dynamique en soi, alors qu'en Europe, où les données sont plus ouvertes et standardisées, il est plus propice au développement et à l'avancement de l'étude, qui prend relativement moins de temps et est plus facile à mettre en œuvre sur le plan opérationnel. En comparaison, cependant, les problèmes de données en Chine ont plus ou moins affecté l'efficacité de la recherche, et avec les limitations de la durée du stage, certaines parties ne peuvent être que survolées. Par exemple, la cartographie des surfaces imperméables et la cartographie des zones à risque d'inondation susmentionnées constituent déjà une proposition de recherche très complexe en soi. Même que (Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020) proposent un produit synthétique Landsat avec un prétraitement déjà terminé, et nous devons commencer par la correction atmosphérique, la correction radiométrique et un certain nombre d'autres étapes. Nous avons besoin de données sur une trentaine d'années, ce qui est une tâche très lourde. Le filtrage des données est aussi nécessaire, ce processus augmente la charge de travail.

À l'avenir, sur la base de notre contenu, les résultats de la recherche pourront être encore élargis, affinés et précisés afin de considérer la relation entre les surfaces désimperméables et le microclimat de manière plus complète et de proposer des solutions de construction plus détaillées, spécifiques et adaptées au projet.

Bibliographie

Web et Actualités

CEREMA, *Comment intégrer la désimperméabilisation des sols sur son territoire? L'exemple du Grand Narbonne*, 2019: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/comment-integrer-desimpermeabilisation-sols-son-territoire>

CEREMA, *Désimperméabilisation et renaturation des sols*, 2020: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/desimpermeabilisation-renaturation-sols-nouvelle-serie>

CEREMA, *Des solutions pour la désimperméabilisation des sols du Grand Narbonne*, 26 JUILLET 2019: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/solutions-desimpermeabilisation-sols-du-grand-narbonne>

CEREMA, *Webconférence*, 2022: Article sur la « Webconférence ‘Renaturer et perméabiliser les villes : jouer sur le levier de la planification’ du 30 novembre 2021 : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/retour-webconference-renaturer-permeabiliser-villes-jouer>

DO ARCHITECTS, 2019: Ogmios City Public Space. VILNIUS, LITHUANIA. DO ARCHITECTS, 2019: <http://www.doarchitects.lt/ogmios-miestas-urban-transformation-lithuania>

FU, 2022: China's many places into high temperature mode, climate warming is the "culprit", People's Daily Online, FU Li-li, 14-07-2022 / (In Chinese)我国多地进入“烧烤”模式，气候变暖是“元凶”，人民网，付丽丽， 2022-07-14: <http://society.people.com.cn/n1/2022/0714/c1008-32474983.html>

GBWINDOWS, 2020: Illustration of technical specifications for permeable paving (permeable brick, permeable asphalt, permeable cement), GBWINDOWS, 08/04/2020: <https://www.gbwindows.net/gbtech/448.html>

INSEE, *GDP, Grand Est*, 2022: GDP in euro per capita - Grand Est, INSEE, 2022: <https://www.insee.fr/en/statistiques/serie/010751778>

INSEE, *Narbonne*, 2022: Dossier complet: Commune de Narbonne(11262), INSEE, 2022: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-11262>

INSEE, *Populations 2018, Strasbourg*, 2020: Populations légales 2018, commune de Strasbourg, INSEE, 12.28.2020: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5001880?geo=COM-67482>

Le gouvernement populaire municipal de Guangzhou, 2014: Notification de la réorganisation de certaines divisions administratives, le gouvernement populaire municipal de Guangzhou, 2014: https://www.gz.gov.cn/zwgk/fggw/szfwj/content/post_4757482.html

La rue piétonne ShangXiaJiu, Wikipedia: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%8A%E4%B8%8B%E4%B9%9D%E6%AD%A5%E8%A1%8C%E8%A1%97>

PLATdesign, 2011: NSE Kitakyushu Technology Center, Fukuoka, Japan. PLATdesign, 2011: <https://landezine.com/nse-kitakyushu-technology-center-by-platdesign/>

Quartier Delacroix-Renoir, 2019: SIVOM Saudrune, Ariège, Garonne, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Conseil Départemental de la Haute-Garonne. Aménagement pour une gestion durable des eaux pluviales, quartier Delacroix-Renoir, 2019. <https://www.sivom-sag.fr/fr/projets/quartier-renoir.html>

Rendre les villes perméables, Aix - Marseille - Provence, 2019: https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/190627_adt-atelier_transversal_final.pdf

Song-ren, 2022: China hit by widespread flooding and heat, hundreds of millions in flood and heat wave, VOChinese, Song-ren, 23-06-2022 / (In Chinese)中国遭遇大面积水患与高温，几亿人处于“水深”“火 Shuqi LIU

热”之中，VOAChinese，松仁，2022-06-23: <https://www.voachinese.com/a/south-china-floods-force-tens-of-thousands-to-evacuate-062222/6628454.html>

Urban Renewal and Land Preparation Bureau of Longgang District, 2021: Chinese version of the global standard for nature-based solutions and typical cases of Chinese practice, Urban Renewal and Land Preparation Bureau of Longgang District, 29-06-2021: http://www.lg.gov.cn/bmzz/csgxj/zwdt/ynyw/content/post_8905874.html

Ville de Paris et al. 2022: Les cours Oasis. Paris, France. Ville de Paris et al. 2022: <https://www.paris.fr/pages/les-cours-oasis-7389>

Victor Rainaldi, Aude, 2020: Grand Narbonne : désimpermeabiliser les sols pour réduire crues et sécheresse, Banque des Territoires, Victor Rainaldi, Aude, 2020: <https://www.banquedesterritoires.fr/grand-narbonne-desimpermeabiliser-les-sols-pour-reduire-crues-et-secheresse-11>

WEI, 2019: "Blossoming Fusion, Chinese Craftsmanship": Visiting the world of "flower umbrellas" at the Beijing World Expo, Xinhua News Agency, WEI Meng-jia, 13-05-2019. / (In Chinese) “融合绽放，中国匠心”：探访北京世园会的“花伞”世界，新华社，魏梦佳，2019-05-13: https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_3444615

ZHANG, Water Authority of ShenZhen Municipality, 2021: Positionnement, concepts et stratégies des villes-éponges en Chine. Water Authority of ShenZhen Municipality. ZHANG Lin-wei. 2021: http://swj.sz.gov.cn/ztzl/bmzdgz/hmcsjs/tszs/content/post_9342030.html

Site de collecte des données

Beijing City Lab, 北京城市实验室: <https://www.beijingcitylab.com/>

EARTHDATA. NASA: www.ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/1/MOD11A2--6

Finer Resolution Observation and Monitoring - Global land cover, 清华数据库: <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>

Geospatial Data Cloud: <https://www.gscloud.cn/sources/index?pid=333&rootid=1&ptitle=MODIS%20%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%90%88%E6%88%90%E4%BA%A7%E5%93%81&title=NDVI&sort=priority&page=1>

Geoscientific Data & Discovery Publishing System, 地质科学数据出版系统: <http://dcc.ngac.org.cn/cn/page/index.jsessionid=95DD0AADE3A49B17507FD7AB7BEC1F92>

LIU, HUANG et al. VI. 2019: Dataset de l'atlas des ressources et de l'environnement pour soutenir et servir la planification et la construction de la ville de Guangzhou et le développement vert, Centre d'études Géologiques de Wuhan de la Commission Géologique de Chine, LIU Feng-mei, HUANG Chang-sheng, ZhaoXin-wen, 2019 / 刘凤梅; 黄长生; 郑小战; 赵信文. 支撑服务广州市规划建设与绿色发展资源环境图集数据集(V1).中国地质调查局武汉地质调查中心[创建机构], 2016. 全国地质资料馆[传播机构], 2019-12-30. 10.23650/data.D.2019.P21.

National Science and Technology Infrastructure, 国家青藏高原科学数据中心: <https://data.tpc.ac.cn/zhangs/>

National Science and Technology Resources Sharing Service Platform, 国家科技资源共享服务平台: <http://39.106.90.21/>

Science data bank, 科学数据银行: <https://www.scidb.cn/>

Vectorized rooftop area data for 90 cities in China (2020): Vectorized rooftop area data for 90 cities in China (2020), National Tibetan Plateau Data Center, DOI: 10.11888/Geogra.tpdc.271702.
CSTR: 18406.11.Geogra.tpdc.271702. NANJING NORMAL UNIVERSITY Lab of smart city sensing and simulation, 2021.

Zhang Zhaoming, He Guo-jin et al. 2020: Landsat surface temperature products over China, Zhang Zhaoming, He Guo-jin, Peng Yan, Long Teng-fei, Wang Meng-meng, Wei Ming-yue, 2020 : <http://databank.casearth.cn>, <http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/985>

Réglementation

Blue Book on Climate Change in China, National Climate Center, 2021.

Cahier des charges pour la construction de la ville éponge de Guangzhou, Le gouvernement municipal de Guangzhou, 05.2022.

Code de l'urbanisme, L'article L151-22: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043977807

Document N°75, 2015: <Le Guide sur la Promotion de la Construction de Villes Éponge> publié par le Conseil d'Etat de la Chine.

Guangzhou Water Authority et al. 2017: Planning and design guidelines of sponge city in Guangzhou- low impact development of rainwater system construction (for trial implementation). Guangzhou Water Authority, Guangzhou Housing and Construction Bureau, Guangzhou Land Resources and Planning Commission, Guangzhou Forestry and Landscape Bureau. 11-2017 / (In Chinese)广州市海绵城市规划设计导则——低影响开发雨水系统构建（试行）. 广州市水务局, 广州市住房和城乡建设委员会, 广州市国土资源和规划委员会, 广州市林业和园林局. 2017年11月

Guide technique du SDAGE. Vers la ville perméable. Bassin Rhône-Méditerranée, 2017: https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/p_guide_ville_permeeable_ae-rmc_2017.pdf

IUCN, 2021: Global Standard for Nature-Based Solutions: A Framework for the Review, Design and Promotion of NbS (Version 1), IUCN, 2021.

Legislative Council, 2016: An Overview of Water Resources Management in Singapore (FSC19/15-16), Legislative Council, 26-02-2016. / (In Chinese) 新加坡水资源管理概况 (FSC19/15-16) , 立法會, 2016-02-26

Loi Climat et Résilience, 22 août 2021 : LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (1) <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

Ministère de la protection de l'environnement / Ministère des ressources territoriales, 2014: Bulletin de l'enquête nationale sur la pollution des sols, Ministère de la protection de l'environnement / Ministère des ressources territoriales, 17-04-2014.

SDAGE Métropole Aix-Marseille-Provence 2016-2021.

SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021.

SCoT de la Narbonnaise, 2022: Analyse et justification de la consommation d'espace, SCoT de la Narbonnaise, 10 février 2022: https://services.legrandnarbonne.com/fileadmin/dam/02/6_Amenagement_et_urbanisme/SCOT_2022/1-2_GN_ANALYSE_JUSTIFICATION_CONSOMMATION_Fev2022.pdf

Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2019: Assessment standard for the construction of sponge road in Shenzhen (SJG 66—2019), Shenzhen Housing and Construction Bureau, 07-12-2019.

Bibliographie

Arnold, Gibbons, 1996: Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator[J]. Journal of the American Planning Association. Arnold Jr CL, Gibbons CJ, 1996, 62(2):243-258.

Centre for Liveable Cities of Singapore, 2017: The Active, Beautiful, Clean Waters Programme: Water as an Environmental Asset. Centre for Liveable Cities of Singapore, 2017

CHEN et al. 2021: A Spatiotemporal Analysis of Heat Island Effect in Guangzhou Based on Landsat[J]. JOURNAL OF GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Chen Bing-jie, Chen Pei-min, Huang Ze-peng, Ng Alex Hay-Man, WANG Hua. 2021, 38(2): 53-59. DOI: 10.12052/gdutxb.200090.

Coustumer, Fletcher, Deletic et al. 2012: The influence of design parameters on clogging of stormwater biofilters: a large-scale column study[J]. Water Research, COUSTUMER S L, FLETCHER T D, DELETIC A et al. 2012, 46(20):6743-6752.

DAI, 2017: Study On Sponge City Planning And Construction Strategy of High Groundwater Level City, DAI Shen-zhi, 10-01-2017.

EPA, 2009: Technical Guidance for Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act of 2007[M]. Washington, DC. EPA, 2009.

Eurostat, 2020: Regional GDP per capita ranged from 30% to 263% of the EU average in 2018, Eurostat Newsrelease, 2020.

GAO, 2014: Study about fillers of stormwater bioretention systems in roads. GAO Xiao-li, 2014. / (In Chinese)高晓丽. 道路雨水生物滞留系统内填料的研究[D]. 太原:太原理工大学, 2014.

Guangzhou Water authority, 2020: Pas d'engorgement en cas de pluie légère, pas d'inondation en cas de forte pluie, réponse efficace aux inondations urbaines super normales. Guangzhou Water authority, 03-09-2020.

Hohai University, 2015: Water Resources Dictionary (水利大辞典), Editorial and Revision Committee of Water Resources Dictionary, Hohai University, 01-10-2015.

Jay, Brown, Kurtz et al. 2017: Predictors of phosphorus leaching from bioretention soil media[J]. Journal of Environment Quality, JAY J G, BROWN S L, KURTZ K et al. 2017, 46(5):1098-1105.

Jimenez-munoz, Cristobal, Sobrino, et al. 2009: Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, JIMENEZ-MUNOZ J C, CRISTOBAL J, SOBRINO J A, et al. 2009, 47(1):339-349.

LIU, HUANG, ZHAO, 2019: 支撑服务广州市规划建设与绿色发展资源环境图集数据集 [J]. 中国地质, 刘凤梅, 黄长生, 赵信文. 2019, 46(S2):102-109.

LI et al. 2021: On the spatial-temporal patterns and differentiation characteristics of thermal landscape in Haikou City. Journal of Zhejiang A&F University. LI Yu-jie, LU Juan, CHEN Si-jia, FU Hui. 2021, 38(4): 712-722.

Saulais, Penloup, 2021: Vers une stratégie de désimperméabilisation au sein du SCoT de la narbonnaise, Muriel Saulais, Cerema; Aura Penloup, Communauté d'Agglomération Grand Narbonne, 2021.

Saulais et al. 2019: Prise en compte de la désimperméabilisation des sols dans le SCoT du Grand Narbonne. Muriel Saulais, Catherine Léonard, Olivier Gradel, Stéphane Domingo, Timothée Capcarrère. 2019.

National Climate Center, 2022: The distribution of extreme maximum temperature in China, National Climate Center, Review number: GS(2019)1786, 13/06/2022-12/07/2022.

Novotny et al. 1994: Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution[M]. New York: Van Nostrand Reinhold. Novotny V, Olem H, Olness A, 1994.

Oke, 1987: Boundary Layer Climates[M]. London: Routledge. Oke TR, 1987.

Prokop et al. 2011: Overview on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects in EU-27 (Environment Agency Austria) Technical Report. Prokop G., Jobstmann H., Schönbauer A. 2011, ISBN: 978-92-79-20669-6.

Rector et al. 2012: Rain Gardens and Mosquitoes, Pat Rector, Teresa Duckworth, Christopher Obropta, 02-16-2012.

REN et al. 2012: REMOTE SENSING FOR LAND & RESOURCES. Advances in Remote Sensing Research on Urban Impervious Surface[J], 2012, 24(4): 8-8. REN Jin-hua, WU Shao-hua, ZHOU Sheng-lu, LIN Chen, 2012.

SUN et al. 2010: The Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes in Guangzhou City[J]. REMOTE SENSING FOR LAND & RESOURCES. SUN Qin-qin, WU Zhi-feng, TAN Jian-jun. 2010, 22(4): 67-70.

WANG Dong-sheng, 2019: Comparison of the structural layers of Chinese and French highway pavements, WANG Dong-sheng, 11-06-2019.

WANG Wen-chuan et al. 2019: Analysis of Causes and Risk Assessment of Urban Waterlogging Based on GIS—Taking the Main City of Fuzhou as an Example, WANG Wen-chuan, CHEN Yu-chao, KANG Ai-qin, 06-2019.

WANG Ying-chun et al. 2009: Les risques météorologiques urbains. La presse météorologique. WANG Ying-chun, ZHENG Da-wei et al, 2009.

WU, FU, 2009: Un résumé du concept d'infrastructure verte et des progrès de la recherche [J]. International Urban Planning, WU Wei, FU Xi-e. 2009, 24(5) : 67-71.

XIE et al. 2018: Research on Suitability of Sponge City Construction Based on Geological Conditions - Take Metropolitan Development Area of Wuhan City as an Example. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunnelling). XIE Ji-hai, Peng Han-fa, XIA Dong-sheng, Zhang Ya-ting, HUANG Qun-long, TAO Liang, 10-2018.

CRR, 2020: Xiamen: Building Sponge Cities for Climate Change Adaptation, Climate Risk and Resilience in China (CRR), 06-2020 / (In Chinese)厦门：建设适应气候变化的海绵城市，中国气候风险和适应合作项目，2020-06

XU Han-qiu, 2009: Quantitative analysis on the relationship of urban impervious with other components of the urban ecosystem, Acta Ecologica Sinica, XU Han-qiu, 2009, 29(5) : 2456-2462.

XU H Q, 2011: Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors. Acta Ecologica Sinica, XU H Q, 2011, 31(14).

XU Jin-yong, 2010: Alienation in China's Urbanization: Urban Villages, Migrant Workers and Small Property Rights Housing, Xiamen University, XU Jin-yong, 2010.

YANG *et al.* 2019: The advanced recognition of low impact development and sponge city construction. YANG Zheng, LI Jun-qi, WANG Wen-liang, CHE Wu, JU Chen-tao, ZHAO Yang, 2019.

SADEV 94, 2017: ZAC Eco-neighborhood Victor Hugo at Bagneux, SADEV 94, 2017

ZHANG Zhaoming, HE Guo-jin *et al.* 2020: 张兆明, 何国金, 彭燕, 等. 中国区域Landsat地表温度产品[J/OL]. 中国科学数据, 2020, 5(4). (2020-10-29). DOI: 10.11922/csdata.2020.0030.zh.

ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, *et al.* 2016,7(3): 279-288: Towards an operational method for land surface temperature retrieval from Landsat 8 data [J]. Remote Sensing Letters, ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, *et al.* 2016, 7(3): 279-288.

ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, *et al.* 2016, 7(8): 810-816: Validation of the generalized single-channel algorithm using Landsat 8 imagery and SURFRAD ground measurements[J]. Remote Sensing Letters, ZHANG Z M, HE G J, WANG M M, *et al.* 2016, 7(8): 810-816.

ZHANG Zhao-xin, JIANG Chun-bo *et al.*, 2020: Research progress on key technologies of bioretention facilities for sponge city construction[J]. Water Resources Protection, LI Jiake, ZHANG Zhao-xin, JIANG Chun-bo *et al.* 2020, 36(1):1-8. / (in Chinese)李家科,张兆鑫,蒋春博,等.海绵城市生物滞留设施关键技术研究进展[J].水资源保护,2020, 36(1):1-8.

ZHAO Rui *et al.* 2020: The relationship between urban spatial growth and population density change. Acta Ecologica Sinica. ZHAO Rui, JIAO Li-min, XU Gang, XU Zhi-bang, DONG Ting. 04-2020:Vol.75, No.4.

ZHAO Yan, 2021: 赵燕. 技术与艺术的完美统一——雨水花园建造探析[J].花卉, 2021(10):105-106

ZHAO Yu-ming *et al.* 2013: Estimation of three parameters for transforming coordinate system from Xi'an-1980 into WGS-1984. Science of Soil and Water Conservation. ZHAO Yu-ming, LIU Bao-yuan, ZHU Shao-do, LIU Su-hong, XIE Yun. 2013.

