

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2021-2022

Prendre en compte le climat dans l'urbanisme et le logement : les mesures d'adaptation



Figure 1 : Projet Parc des Aigalades à Marseille (source : Euroméditerranée)

Prendre en compte le climat dans l'urbanisme et le logement : les mesures d'adaptation

**Directeur de recherche
Monsieur Vincent Rotgé**

**Auteur
Noémie Viovi**

Année 2021-2022

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon tuteur de PFE, Monsieur Vincent Rotgé, pour m'avoir accompagnée tout au long de ce projet et pour avoir partagé ses connaissances sur le sujet.

Je remercie également Marion Susini avec qui j'ai réalisé la première étape de ce travail de recherche, ainsi que l'ensemble de mes camarades qui m'ont soutenue et aidée dans mes recherches.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidée à avancer dans mon travail, en répondant à mes questions. Je remercie Madame Céline Tanguay, paysagiste urbaniste à l'Agence d'urbanisme de l'Agglomération de Tours, ainsi que Monsieur Franck Geiling, délégué général adjoint urbanisme, aménagement et habitat à Marseille.

1. Introduction
 - 1.1. Intérêt de l'étude
 - 1.2. Problématique et hypothèses
 - 1.3. Méthodologie
2. Etat de l'art
 - 2.1. Définitions
 - 2.2. Méthodes d'analyse existantes des ilots de chaleur
 - 2.3. Les stratégies de végétalisation
3. Etudes de cas
 - 3.1. Présentation des études de cas
 - 3.2. Résultats
4. Discussion
 - 4.1. Les limites des systèmes de gouvernance
 - 4.2. Les limites liées aux caractéristiques des villes
 - 4.3. Les limites provenant des stratégies de végétalisation elles-mêmes
5. Conclusion

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Projet Parc des Aigalades à Marseille (source : Euroméditerranée)	1
Figure 2 : Diagramme présentant les différentes étapes vers notre objet de recherche (réalisation : Marion Susini, 2021)	8
Figure 3 : Zones climatiques selon la classification des climats de Köppen-Geiger (ADEME, 2021)	9
Figure 4 : Etapes du travail de recherche (réalisation : Noémie Viovi, 2022)	11
Figure 5 : Profil horizontal d'un îlot de chaleur urbain (source : Claverie et al., 2011).....	14
Figure 6 : Cartographie des études de cas - Tours, Marseille et Barcelone	19
Figure 7 : Carte des températures de surface (°C) de Marseille (source : AGAM, 2020 ; Images Landsat5 retraitée du 05 août 2015 et Landsat8 retraitée du 07 août 2016, à 10h résolution 30m, EarthExplorer ; DGFIP Cadastre PCI 2012 et 2015 ; Orthophoto 2014 Région PACA – CRIGE ; AGAM 2018)	22
Figure 8 : Carte des températures de surface (°C) à Barcelone à partir de données de 2014 (source : Pla Clima, 2018 ; Institut Cartogràfic i Geologic de Catalunya - Barcelona Regional, 2014)	23
Figure 9 : Carte des températures de surface (°C) de Tours du 4 juillet 2019 à 10h40 (source : ATU, 2020 ; IGN, BD Ortho, Landsat8 image)	23

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Stratégies de végétalisation existantes (ADEME, 2021; Clergeau, 2020; Rahman, 2019)	17
Tableau 2 : Caractéristiques principales des 3 études de cas (ADEME, 2021; Dossier complet – Commune de Marseille (13055) Insee, s. d.; Dossier complet – Commune de Tours (37261) Insee, s. d.; El web de la ciutat de Barcelona Ajuntament de Barcelona, 2015)	20
Tableau 3 : Indicateurs d'identification des îlots de chaleurs urbains sur les 3 sites étudiés (AMB, 2015; ATU, 2020; Aupa, 2019)	21
Tableau 4 : Indicateurs de comparaison des systèmes de gouvernance des 3 sites étudiés (Ajuntament de Barcelona, s. d.-b, s. d.-a, 2017, 2020; Écoquartier Smartseille, s. d.; Ville de Tours, 2020b, 2020a, 2021b, 2021a).....	24
Tableau 5 : Indicateurs de comparaison des espaces disponibles dans les 3 sites étudiés (Ajuntament de Barcelona, 2017; Plans Locaux d'Urbanisme, s. d.; Ville de Tours, 2020b, 2020a)	26

1. INTRODUCTION

Le changement climatique est un des enjeux majeurs de notre société actuelle. En tant qu'étudiantes en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, l'urbanisme et le logement sont deux domaines sur lesquels nous travaillons et où il est possible de proposer des mesures d'adaptation au changement climatique. Le sujet initial de ce projet de fin d'études sur lequel nous avons décidé de travailler était "Prendre en compte le climat dans l'urbanisme et le logement : les mesures d'adaptation".

La littérature autour du changement climatique et de sa définition est importante. L'étude la plus prépondérante connue à ce jour est celle du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) qui a débuté en 2013 (Réseau Action Climat, 2014). Ils ont établi différents scénarios du changement climatique selon différents indicateurs, et ont proposé des mesures d'adaptation et d'atténuation possibles pour réduire l'impact du changement climatique sur notre mode de vie et sur la biodiversité. Le 5^e rapport du GIEC explique que c'est en parti l'augmentation des gaz à effet de serre qui est responsable du dérèglement climatique (Réseau Action Climat, 2014). Si l'on souhaite agir au niveau de ces gaz à effet de serre et les réduire, il faut alors mettre en place des mesures d'atténuation. Cette augmentation des gaz à effet de serre a plusieurs impacts sur le climat, nous pouvons les regrouper sous 5 catégories (Ministère de la transition écologique, 2018) : la fonte des glaces, l'augmentation des températures, l'augmentation des précipitations, et l'augmentation de niveau des eaux. C'est au niveau de ces impacts que les mesures d'adaptation peuvent faire effet. Pour chaque impact il existe des conséquences sur le milieu urbain et rural, pouvant être très diverses. Par exemple, l'augmentation des températures peut induire de grandes périodes de sécheresse, avec de forts impacts sur l'agriculture, mais aussi créer des îlots de chaleurs urbains, qui vont s'intensifier avec les périodes de canicule (Réseau Action Climat, 2014).

L'ensemble de ces recherches (Figure 2) nous ont permis de redéfinir notre sujet autour des îlots de chaleur urbains. Ce thème reste encore très large, et fait l'objet de nombreuses études dans la littérature blanche et grise. En effet, nous avons pu constater qu'en prenant en compte les îlots de chaleurs urbains, nous pouvions dégager 4 facteurs sur lesquels s'appuyer pour les diminuer : la végétalisation, le bâti (avec les notions de formes urbaines et d'albédo), l'énergie et la gestion de l'eau (Bernard et al., 2020; Greuillet, 2013).

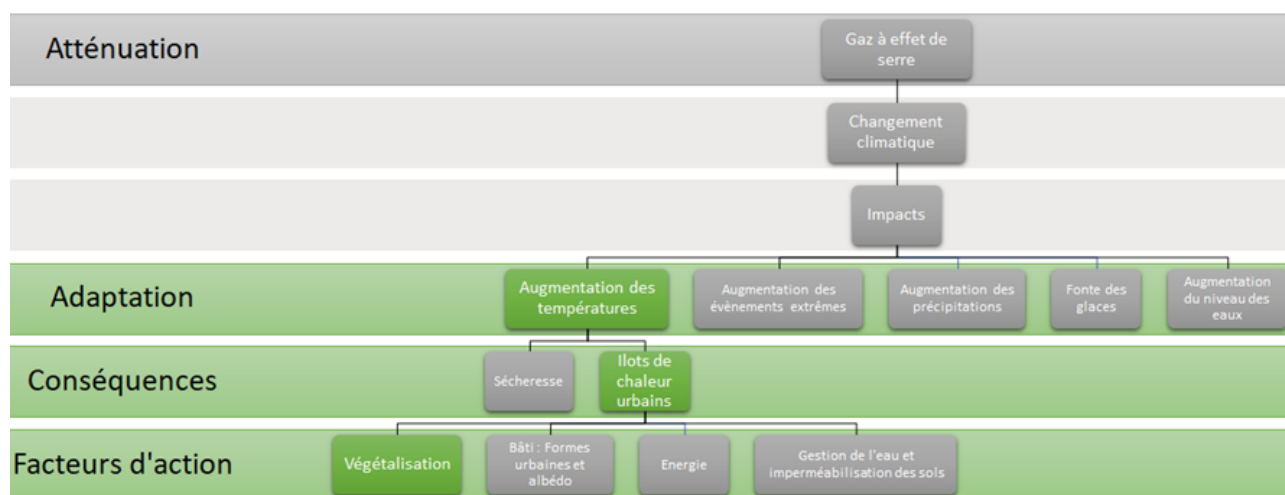


Figure 2 : Diagramme présentant les différentes étapes vers notre objet de recherche (réalisation : Marion Susini, 2021)

Dans la suite de notre travail, nous nous sommes plus particulièrement intéressées à la végétalisation dans la lutte contre le changement climatique, bien que les 4 facteurs évoqués précédemment ne soient pas indépendants les uns des autres. En effet, nous verrons par la suite qu'au travers des stratégies de végétalisation, d'autres stratégies liées à la gestion de l'eau ou à la forme des bâtiments interviennent.

1.1. Intérêt de l'étude

Un des enjeux pour la ville de demain est le changement climatique, dont un des facteurs principaux est la hausse des températures et l'augmentation des vagues de chaleur. D'après une étude réalisée par Météo France, 2 fois plus de vagues de chaleur sont à prévoir en France d'ici 2050 (*Vagues de chaleur et changement climatique* | Météo-France, s. d.). Les climats évoluent, si bien que le climat que nous trouvons aujourd'hui en région Méditerranéenne sera celui sur la côte Atlantique entre 2071-2100 (Figure 3) (ADEME, 2021). Ces augmentations de température à une échelle locale ont pour conséquence la formation d'îlots de chaleur urbain.

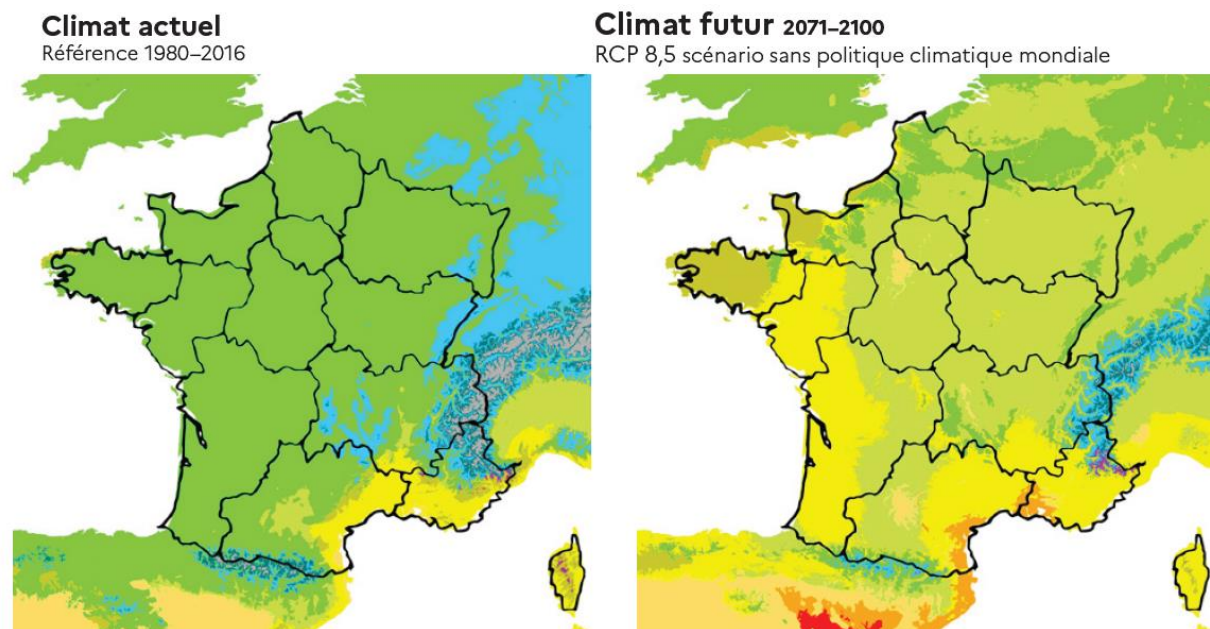


Figure 3 : Zones climatiques selon la classification des climats de Köppen-Geiger (ADEME, 2021)

BWh	Climat désertique chaud
BSh	Climat semi-aride chaud
BSk	Climat semi-aride froid
Csa	Méditerranéen chaud // Climat tempéré chaud à été chaud et sec
Csb	Méditerranéen tempéré // Climat tempéré chaud à été sec
Cfa	Subtropical humide // Climat tempéré chaud sans saison sèche et à été chaud
Cfb	Océanique tempéré // Climat tempéré chaud sans saison sèche et à été tempéré
Cfc	Océanique froid // Climat tempéré chaud sans saison sèche à été court et frais
Dfb	Climat continental froid, sans saison sèche et à été tempéré
Dfc	Climat continental froid, sans saison sèche et à été court et frais
ET	Climat polaire

En conséquence de l'augmentation des températures, la biodiversité tend à diminuer, voir à disparaître dans certains milieux. Pour éviter cela, il s'agirait de renforcer les processus écologiques et de protéger ceux existants déjà en milieu urbain et en milieu rural. Une des stratégies possible serait alors d'intégrer davantage la nature en ville par le biais de l'aménagement urbain. L'urbanisme doit pouvoir s'adapter aux enjeux climatiques et répondre aux besoins de chacun. C'est pourquoi différents types d'urbanisme ont vu le jour, par exemple l'urbanisme responsable ou écologique. Ce dernier est synonyme de résilience et de durabilité, et repose sur l'environnement, le bien-être, la qualité environnementale, ainsi que l'équité. À travers cette définition, nous comprenons que les stratégies d'adaptation au changement climatique s'opèrent au travers des habitants et de l'environnement qui les entoure (Clergeau, 2020).

L'adaptation des villes au changement climatique est liée à la planification territoriale, et doit permettre d'anticiper les problèmes issus du changement climatique. Ces axes doivent devenir des enjeux prioritaires dans l'aménagement des villes, en continuité avec leur ruralité, afin de la rendre plus résiliente et durable, d'améliorer la santé publique et de créer du lien social.

1.2. Problématique et hypothèses

A partir des recherches que nous avons réalisées, nous avons déduit la problématique suivante : **Alors que la végétalisation pourrait être une solution aux îlots de chaleur urbains, comment expliquer qu'elle ne soit pas plus mise en place ?**

Nous en avons déduit plusieurs hypothèses :

- H1 : Les différentes caractéristiques des villes sont à l'origine du manque de stratégies de végétalisation, par leur taille, le foncier disponible, les quartiers anciens...
- H2 : Les systèmes de gouvernance ne sont pas adaptés pour répondre aux enjeux du changement climatique. Les collectivités n'ont pas les connaissances nécessaires.
- H3 : L'eau devient une ressource rare, et pourtant la végétalisation repose en partie sur elle.

1.2.1. Les caractéristiques des villes

Premièrement, le manque de mise en place de stratégies de végétalisation pourrait dépendre de la typologie des villes et notamment de leur taille. Par exemple, sur des petites villes, l'effet de l'îlot de chaleur est moins présent, donc le besoin de végétaliser se fait moins ressentir. A l'inverse, dans les grandes villes, les enjeux sont plus importants. Les budgets prévus sont plus conséquents, et avec des expérimentations qui sont mises en place depuis plusieurs années parfois (Tavin & Leseur, 2016). De nombreuses recherches sont faites sur des villes comme Nantes, Marseille ou Lyon sur l'impact des îlots de chaleur (Terrin et al., 2015).

Le foncier est également un élément important à prendre en compte. Par exemple sur des quartiers anciens, cela sera beaucoup plus difficile à mettre en place puisqu'il y aura moins de place libre pour la végétalisation. Les rues et les bâtiments ne sont pas prévus pour supporter des murs ou des toitures végétalisés. A l'inverse, cela sera plus facile à mettre en place dans les nouveaux quartiers. Les caractéristiques des villes influencent également les possibilités ou non de végétaliser et l'importance des îlots de chaleurs urbains : densité et hauteur de bâti, occupation du sol, matériaux, vents, végétalisation, présence d'eau, taux d'imperméabilisation (IAU, 2014).

1.2.2. La gouvernance, le coût et l'entretien

La seconde hypothèse concerne le coût et l'entretien qui sont des éléments à prendre en compte et qui peuvent être un frein à la mise en place des stratégies dans certaines villes. Les coûts sur ce type de projets sont élevés et nécessitent un engagement sur le long terme pour être efficace. Cela est d'autant plus vrai que la gestion de ce type de projet implique souvent des nombreux acteurs privés et publics (Tavin & Leseur, 2016).

L'accès à la connaissance et à la technologie peuvent également être un problème. Il peut être difficile pour les villes d'identifier et de comprendre les implications du changement climatique et de l'effet de la végétalisation sur les îlots de chaleur urbains. Sophie Debergue, ingénieure expert urbanisme de l'ADEME¹ explique ainsi « Le premier [frein], c'est la connaissance des phénomènes et une forme d'incertitude : on ne peut pas dire exactement la température que l'on aura dans 10 ans, face à des investissements potentiellement lourds. Il faut accompagner ces projets en termes d'ingénierie : dans des petites collectivités, il n'y a ni budget, ni moyens humains. Et il y a la difficulté politique de parler de ce sujet : il faut que les élus sachent en parler. Parce que parfois, vous allez contre l'envie des gens. ».

¹ ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

1.2.3. La ressource en eau

Enfin, la ressource en eau, puisqu'elle va se raréfier, pose une nouvelle problématique à la végétalisation des villes. La gestion de la ressource en eau et la question de la végétalisation des villes sont très liées et peuvent sembler contradictoires. En effet, cette stratégie demande une consommation importante d'eau pour pouvoir entretenir les espaces végétalisés. D'autant plus qu'un tel espace souffrant d'un manque d'eau pourrait avoir l'effet inverse souhaité en bloquant l'évapotranspiration (AGAM, 2018). Toutefois la végétation peut également être une solution à certains soucis de gestion de l'eau en ville en limitant l'artificialisation, en aidant à l'infiltration des eaux pluviales (limitant ainsi le ruissellement) et en ayant une action filtrante sur la pollution de l'eau (Tavin & Leseur, 2016).

1.3. Méthodologie

L'ensemble de ce travail a été divisé en deux étapes. La première a été effectuée en collaboration avec Marion Susini.

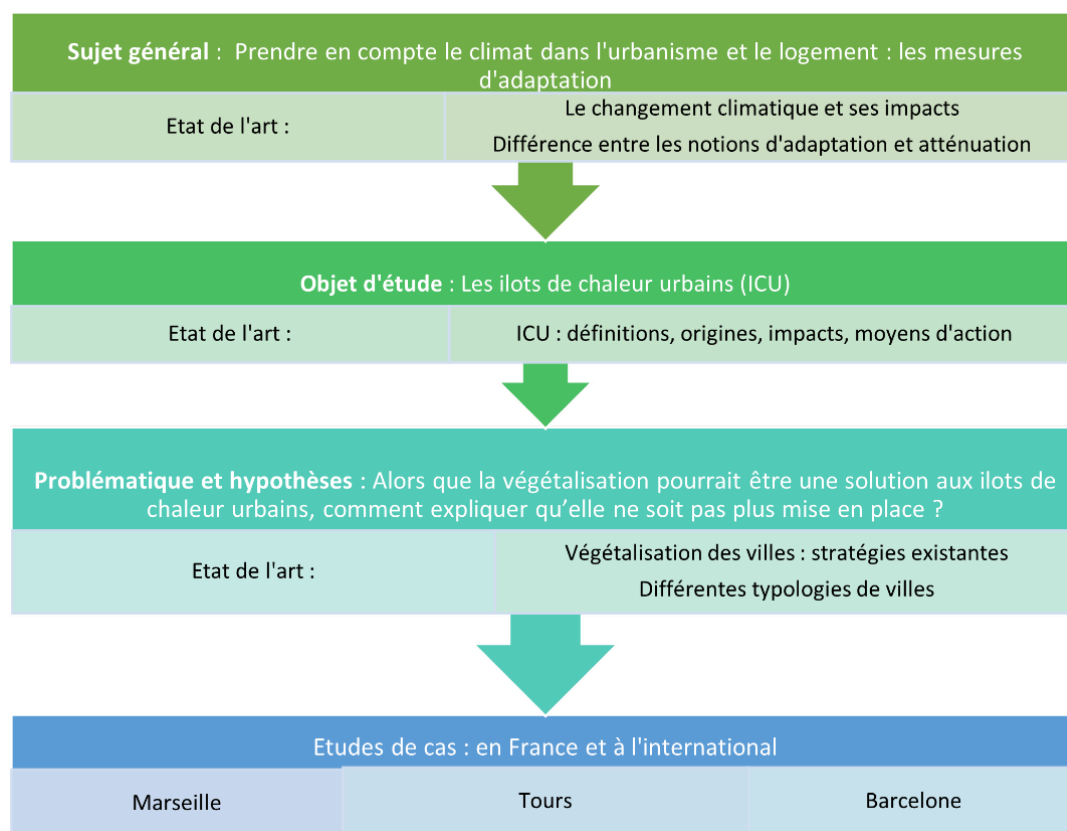


Figure 4 : Etapes du travail de recherche (réalisation : Noémie Viovi, 2022)

Nos recherches se sont d'abord portées sur des documents scientifiques permettant de définir le changement climatique et ses effets, ainsi que la notion d'adaptation pour faire la distinction avec l'atténuation. À chaque étape de définition de notre objet d'étude, nous avons affiné nos recherches sur des thématiques particulières et rédigé notre état de l'art.

Ensuite, dans la poursuite du travail effectué l'année passée, nous avons poursuivi les recherches de l'état de l'art (Figure 4), afin de mieux comprendre les subtilités des îlots de chaleur urbains. De plus, un travail important a été effectué sur les différentes stratégies de végétalisation existantes.

Puis des études de cas ont été réalisées, à Tours, Barcelone et Marseille, dont les modalités de choix des villes seront expliquées dans la partie des études de cas (p19). Pour chaque territoire, les caractéristiques

générales ont été recherchées, comme la densité de population, le type de climat ou les caractéristiques géographiques. Les documents d'urbanisme ont permis de constater le degré d'implication des élus locaux dans le cadre du changement climatique, mais aussi de repérer les projets d'urbanisme susceptibles d'utiliser la végétalisation. Les documents étudiés ont été les PCAET², les PLU³, les plans canicules des villes, ainsi que d'autres documents parfois spécifiques au niveau local. Quand cela était possible, des acteurs ont été interrogés afin d'étoffer les propos et de mieux saisir les enjeux au sein des communes. À partir de ces études de cas, un croisement des informations a été effectué afin de déterminer les facteurs limitant et impactant les stratégies de végétalisation dans les villes.

² PCAET : Plan climat air énergie territorial

³ PLU : Plan local d'urbanisme

2. ETAT DE L'ART

2.1. Définitions

2.1.1. Agir sur le changement climatique : les notions d'atténuation et d'adaptation

Les deux notions d'adaptation et d'atténuation ont été pour la première fois évoquées en 1992 par la CCNUCC⁴ pour répondre à la question du changement climatique (Bertrand & Richard, 2015). Nous pouvons alors comprendre que la problématique du changement climatique et des solutions d'atténuation et d'adaptation sont en réalité connues depuis plusieurs années, et pourtant, des limites ou des manques sont toujours présents. Les plans de mises en œuvre d'adaptation ou d'atténuation au changement climatique ne sont pas toujours mis en place conjointement. Or ce sont deux concepts complémentaires : l'adaptation permet d'agir où l'atténuation n'a pas pu avoir d'effet (Bertrand & Richard, 2015). De plus, même si les politiques publiques ont conscience de l'urgence de s'adapter au changement climatique, rares sont les mises en application. Cela peut s'expliquer par le fait que l'adaptation n'est pas homogène sur l'ensemble des territoires, il n'existe pas de solutions identiques (Bertrand & Richard, 2015).

C'est en cela que nous avons pu trouver différentes façons de définir la notion d'adaptation, tout en définissant l'atténuation pour ne pas confondre ces deux notions.

L'atténuation est souvent définie comme « la réduction des émissions de gaz à effet de serre, pour limiter l'impact des activités humaines sur le climat et l'environnement » (Ministère de la transition écologique, 2018). Nous comprenons alors que l'atténuation permet d'agir en amont des conséquences du changement climatique. Les mesures d'atténuation ont un impact général et global sur un territoire (Bertrand & Richard, 2015).

Tout comme l'atténuation, il est possible de trouver des définitions d'adaptation dans différents plans d'action ou d'étude sur le changement climatique. Nous y retrouvons des définitions semblables, par exemple dans le Plan national d'adaptation au changement climatique, l'adaptation est définie comme un moyen « pour limiter les impacts négatifs de l'évolution du climat sur les sociétés humaines et l'environnement » (Ministère de la transition écologique, 2018), ou encore par le GIEC comme un « processus d'ajustement au climat présent ou attendu et à ses effets » (Réseau Action Climat, 2014). Certaines définitions de l'adaptation sont plus précises, par exemple sur la notion de territoire. L'agence de développement et d'urbanisme de l'agglomération Strasbourgeoise explique que l'adaptation permet d'intégrer les changements du climat et de réduire la vulnérabilité face aux différents risques (naturels, techniques et de santé publique) (ADEUS, 2012). Nous pouvons en conclure que l'adaptation permet de réduire la vulnérabilité d'un territoire. Ainsi, pour s'adapter au changement climatique, il est possible de passer par l'aménagement du territoire et par le projet urbain, pour former un territoire durable.

Il est important de différencier l'atténuation de l'adaptation pour ne pas prendre en compte des mesures d'atténuation dans nos recherches, bien que ces deux types de mesures poursuivent un même objectif et sont souvent présentées ensemble dans les documents d'adaptation au changement climatique. De plus, certaines mesures d'adaptation peuvent également avoir des effets sur l'atténuation. Par exemple, végétaliser les villes permet de réduire l'utilisation de la climatisation, moins d'énergie sera consommée pour réduire la température des habitations.

⁴ CCNUCC : Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

2.1.2. Un enjeu des villes urbanisées : les ilots de chaleur urbains

Les ilots de chaleurs urbains (ICU⁵) sont des phénomènes localisés et dynamiques, qui apparaissent notamment dans les villes denses et urbanisées, c'est-à-dire quand il y a une artificialisation des espaces naturels au profit de l'urbanisation (AGAM, 2018; Apur, 2020). Un ICU se caractérise par la différence de température entre le milieu rural et urbain, en particulier la nuit comme nous allons l'expliquer dans la suite (Figure 5) (ADEME, 2021).

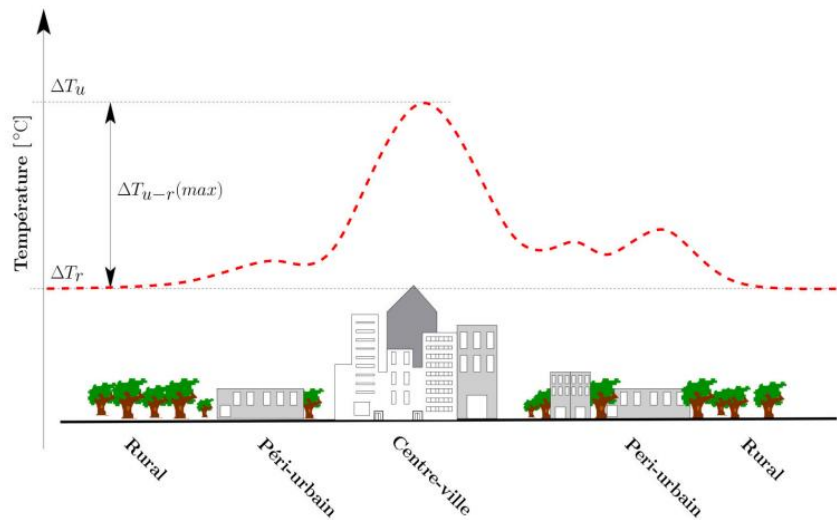


Figure 5 : Profil horizontal d'un îlot de chaleur urbain (source : Claverie et al., 2011)

Certains facteurs naturels comme le climat, la météorologie ou encore la topographie peuvent influencer sur la formation des ICU (Euroméditerranée, 2010; Greuillet, 2013). Par exemple, la présence ou non de vent et sa vitesse sont des facteurs importants au rafraîchissement des villes. En effet, la circulation de l'air permet de rafraîchir les villes. Des vents faibles font stagner les masses d'air dans les villes, et augmentent le phénomène d'ilots de chaleur. Les circulations d'air sont influencées par la forme des bâtis. Certaines rues dites « canyons », qui sont droites et étroites, empêchent la circulation de l'air, et la sensation d'étouffement par les habitants se fait plus rapidement ressentir (*Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?*, s. d.). Selon la répartition géographique des villes, certaines pourraient être plus favorables à maîtriser les ICU, notamment les villes côtières (AGAM, 2018).

Cependant, aux origines naturelles il faut ajouter les origines anthropiques. Les facteurs anthropiques sont les principales causes de formation des ilots de chaleur, comprenant l'urbanisation des villes, l'imperméabilisation des sols et l'ensemble des activités humaines telles que le chauffage, l'éclairage, la climatisation, les industries ou certains types de transports (Anquez & Herlem, 2011).

La température dans une ville dépend de plusieurs indicateurs. Les matériaux utilisés pour les bâtiments ont un impact sur la température ressentie dans la ville, mais surtout par leur couleur. C'est ce qu'on appelle l'albédo, c'est-à-dire la capacité des matériaux à réfléchir l'énergie incidente. Pour une couleur foncée (comme le bitume de nos routes), l'albédo sera faible, et le matériau absorbera plus d'énergie dans la journée. Cette énergie emmagasinée sera renvoyée dans l'air la nuit, sous forme de rayons infra-rouge thermiques. Ce phénomène empêche le rafraîchissement de la ville la nuit, et est d'autant plus important en période de canicule. C'est aussi la raison pour laquelle les températures les plus importantes sont enregistrées au cours de la nuit. Environ 40% des surfaces présentent dans les milieux urbains ont une albédo faible (*Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?*, s. d.). Mais il n'est pas toujours possible de choisir des matériaux plus clairs à albédo plus forte. Par exemple dans le cas des routes, une route claire pourra engendrer un inconfort visuel, qui pourrait éblouir les habitants et les conducteurs.

⁵ ICU : Ilots de chaleur urbains, noté ICU dans la suite du document

Un second facteur influant sur la température regroupe les phénomènes d'évapotranspiration et de transpiration végétale présents dans le cycle de l'eau. Ces mécanismes naturels permettent de diminuer la température de l'air. Or en ville le cycle de l'eau est modifié par l'imperméabilisation des sols, accentuant le ruissellement. Les phénomènes d'évapotranspiration n'ont pas le temps de se produire et ne peuvent donc pas rafraîchir les espaces (*Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?*, s. d.).

D'autres facteurs comme le cycle du carbone influent sur les variations de la températures de l'air. Ainsi, les fortes hausses de chaleur en ville sont fortement liées à la densité des villes et à la raréfaction de la nature en ville. Leur intensité évolue selon les saisons et selon les périodes de la journée. Ils sont notamment plus importants la nuit puisque l'énergie emmagasinée durant la journée est relâchée durant la nuit (Clergeau, 2020).

Finalement, les îlots de chaleur urbains sont fortement liés à l'occupation des sols. Certaines zones urbaines sont plus impactées que d'autres. C'est le cas des zones d'activité économique et commerciale où l'on trouve une concentration importante d'entrepôts, de toitures en zinc et de parkings. Nous retrouvons les facteurs évoqués au-dessus provoquant la formation des ICU dans ces lieux. D'autres espaces comme les équipements publics, notamment les cours d'école, souffrent du phénomène des îlots de chaleur. Dans la suite de notre étude, ces espaces sont souvent identifiés comme prioritaires dans les mesures de végétalisation (*Les îlots de chaleur à la croisée des enjeux de l'urbanisme*, s. d.).

2.2. Méthodes d'analyse existantes des îlots de chaleur

Les études réalisées sur les îlots de chaleur urbains sont souvent basées sur les relevés de températures de la canicule de 2003 ayant fait le plus de victimes en France et en Europe. Il semble que cette canicule ait révélé des faiblesses au sein des villes, notamment en termes d'espaces de fraîcheur. Les espaces de fraîcheur sont des lieux disponibles et ouverts au public, leur permettant de trouver un rafraîchissement par rapport à leur lieu de vie. Cette canicule a été un moment où les populations et les systèmes de gouvernance ont pris conscience de notre vulnérabilité face au changement climatique, et plus particulièrement de la hausse des températures. Cela ne pose pas uniquement des questions sur la densité des villes, mais aussi sur la santé publique (Chambriard, 2021).

Dans la majorité des études réalisées sur les îlots de chaleur urbains, la méthodologie de la télédétection est utilisée, suivi d'une analyse de données. Les données de bande thermique infra-rouge sont transformées en données de températures, permettant ainsi de mesurer la chaleur émise par la surface. Finalement, nous obtenons une cartographie représentant des nuances de températures de surface sur un territoire donné, qu'il est possible de comparer avec l'occupation des sols (*Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?*, s. d.). Ensuite pour connaître la part de trame végétale déjà présente sur le territoire, une interprétation des vues aériennes est possible, en utilisant les pixels des images satellitaires. Cette méthodologie nécessite un travail important de correction et d'une connaissance très fine du territoire, pour identifier par exemple les zones apparaissant en vert mais qui pourraient être des terrains de football synthétiques.

Pour mesurer l'intensité des ICU, il faut calculer la différence de température entre le milieu urbain et sa zone rurale périphérique. En observant une ville dans sa globalité avec son environnement rural périphérique, nous allons pouvoir observer un pic de température au niveau du centre-ville. De plus, en analysant plus précisément la ville, nous pourrions constater des variations de températures entre différents quartiers et îlots (Anquez & Herlem, 2011). Les zones les plus sensibles sont les centres-villes, les zones commerciales et industrielles, les grandes places restreintes par de hauts bâtiments, ainsi que les grands axes routiers et les emplacements pour stationner. Ce sont donc l'ensemble des espaces artificialisés (Anquez & Herlem, 2011). Les variations de températures, et donc les îlots de chaleur, suivent les formes urbaines et la présence ou non de végétation. Par exemple, les parcs, cours d'eau et cimetières sont des lieux rafraîchissants dans les villes. Nous pouvons alors conclure qu'en plus de suivre une variation temporelle, les ICU suivent une variation spatiale.

Associé aux îlots de chaleur, le facteur vue du ciel (ou skyview factor) mesure l'accès au ciel du tissu urbain. À partir de ce facteur, il est possible de déterminer la différence de température maximale entre le milieu

rural et urbain, ce qui correspond à la définition de l'îlot de chaleur urbain. Il est possible de le calculer à l'aide de la formule d'Oke :

$$\Delta T_{max\ urban-rural} = 15.27 - 13.88\phi_{ciel}$$

D'après cette formule, un ϕ maximum réduirait la différence de température ΔT , et permettrait ainsi de réduire l'îlot de chaleur. Cependant, il faut penser que ce n'est pas le cas pour tous les types de climats. En effet, dans un climat chaud et sec, si le facteur vue du ciel est important, la température va d'autant plus augmenter en journée renforçant l'effet de l'îlot de chaleur. Dans ces conditions, l'ombre permet de garder la fraîcheur en journée. Cet indicateur est à prendre en compte pour l'étude des îlots de chaleur, à condition de l'adapter selon les caractéristiques climatiques locales (ADEME, 2021; Salat, 2011).

2.3. Les stratégies de végétalisation

Il existe des mesures pour lutter contre les ICU et limiter leurs impacts : ce sont des mesures d'adaptation, à mettre en place au niveau local, et en parallèle des mesures d'atténuation. Nous avons pu identifier quatre facteurs possibles sur lesquels s'appuyer pour réduire les ICU : la végétalisation, le bâti, la gestion de l'eau et l'énergie (Greuillet, 2013). Nous avons pu nous rendre compte que l'ensemble de ces mesures ne peuvent être prises indépendamment les unes des autres. La végétation est une des solutions existantes pour adapter les villes au changement climatique et lutter contre les îlots de chaleur.

L'ensemble des stratégies permettant de rafraîchir les villes peuvent être regroupées en 3 catégories. Les solutions douces regroupent les comportements des usagers et la gestion urbaine. Ces solutions ont pour objectif de diminuer le trafic routier et l'utilisation de la climatisation, ou d'informer les habitants afin qu'ils modifient leur façon de vivre pour moins consommer. Ensuite, les solutions grises englobent l'ensemble des infrastructures urbaines, comme les revêtements routiers, le mobilier urbain ou les bâtiments. Nous pouvons y inclure les fontaines, l'arrosage urbain, les structures d'ombrage, les panneaux solaires et l'isolation des structures et bâtiments. Enfin, les solutions vertes correspondent aux stratégies fondées sur la nature, liées à l'eau et à la végétation, sur lesquelles nous allons nous concentrer. Nous pouvons y identifier de nombreuses techniques comme les parcs, les arbres, les pelouses, les toitures et façades végétalisées, les rivières etc (Tableau 1).

Les solutions de végétalisation permettent de rafraîchir l'air, d'améliorer le confort thermique et de diminuer les effets de la climatisation. Les effets des végétaux sur l'environnement sont divers : réflexion de la lumière solaire, évapotranspiration, ombrage, et création de micro courant d'air (AGAM, 2018; Tavin & Leseur, 2016). Par exemple, la présence d'une façade végétale permet de diminuer la température intérieure de 4 à 6°C en été. Cette stratégie est efficace pour faire des économies d'énergie en été comme en hiver. L'hiver, les couvertures végétales permettent de diminuer le chauffage. L'été, elles permettent de diminuer l'utilisation de la climatisation. De manière générale, les toitures et les murs végétalisés sont de très bon isolants thermiques. Cependant, un accès à l'eau est essentiel, surtout en cas de forte chaleur, puisqu'elle permet d'accentuer l'effet de fraîcheur.

Tableau 1 : Stratégies de végétalisation existantes (ADEME, 2021; Clergeau, 2020; Rahman, 2019)

Stratégies	Effets de refroidissement	Avantages	Limites
Arbres (arbre isolé, alignements d'arbres)	Diminution de la température de l'air de 2 à 3°C par ombrage et évapotranspiration Effets x10 dans une surface enherbée	Ombrage : dépend de la densité d'arbres, des essences, de la disponibilité en eau dans le sol, du revêtement au sol au pied de l'arbre et de la qualité du sol	Si strate arborée importante : peut piéger la chaleur Peu utile dans les rues étroites et hautes : il y a déjà l'effet d'ombre par les bâtiments
Parcs	Diminution de la température de 2°C jusqu'à 100m en dehors du parc	Dépend : de la taille et forme du parc, du type de végétation	Dépend de l'accès à l'eau : si manque d'eau alors les effets sont divisés par 4
Façades végétalisées	Effets jusqu'à 1m autour Pour plus d'effet : associer mur + toit végétalisés car le rafraîchissement du toit sera conduit vers le sol par le biais du mur	Protection solaire : moins de climatisation Plus d'effets que les toitures car peuvent être situées dans les zones occupées par les habitants	Température plus élevée la nuit car le mur végétal se refroidit plus lentement
Toitures végétalisées	Diminution de la température de l'air de 2°C Effets ressentis jusqu'à 1m autour	Diminution du flux thermique entrant dans les bâtiments de 50% en été : améliore le confort intérieur	Coût : +14% par rapport à une toiture classique (mais compensé avec le temps) Pas d'effet à large échelle sur la ville : ce sont les toitures réfléchives à albédo élevée qui ont cet impact
Végétalisation par les habitants (trottoirs, pieds d'arbre)	Peu d'effet	Souvent encadrés par les municipalités par la mise en place de chartes	Davantage un impact psychologique sur le verdissement de la ville
Pelouses, prairies	Différence de température entre 0,1 et 1°C entre les zones enherbées et les zones minérales	Faible coût financier	Rafraîchissement modéré, pas vraiment d'effet le jour Besoin d'irrigation pour avoir plus d'effet
Plans d'eau, rivières	L'aménagement des berges est important : si l'espace est ouvert autour du point d'eau, alors l'effet de fraîcheur pourra mieux se propager vers les zones urbanisées	Souvent déjà existants Plus le plan d'eau est grand et plus les effets sont importants	Augmente l'humidité : diminue le confort thermique

En complément des stratégies techniques, nous avons pu identifier des stratégies passives. Les structures d'ombrage en font parties, via les arbres, des structures spécifiques (pergolas, toiles, parasols etc.) ou des bâtiments. Combinées à une végétalisation, ces stratégies ont un effet de refroidissement plus important. Une étude réalisée à Tel Aviv a montré que pour atteindre un effet de rafraîchissement de moins 3.5°C, 60%

de la rue devait être couverte par des arbres, 85% avec des pergolas, et 70% si les pergolas étaient végétalisées.

Le vent est également une stratégie passive. La ventilation naturelle permet de rafraîchir les espaces. Des moyens existent dans les pays chauds comme au Sénégal, pour ventiler les espaces. L'objectif est de créer des espaces intermédiaires, qui vont jouer un rôle tampon entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, et où l'air pourra circuler par des vérandas ou des arcades. Ces espaces sont protégés du soleil, de la pluie mais laissent les courants d'air circuler librement. S'ils sont accompagnés de végétation, leurs effets peuvent être multipliés grâce aux phénomènes d'évapotranspiration (cf. partie sur les ICU ci-dessus) (Joffroy et al., 2017).

Pour s'adapter au changement climatique et à la formation des ICU, il semble nécessaire de trouver un équilibre entre le minéral et l'urbanisation, et le végétal. Les solutions décrites dans la littérature sont ponctuelles et limitées dans l'espace. Elles ont chacune des avantages et des limites quant à leur capacité de refroidissement des espaces (Tableau 1). Il semble alors important d'unifier les mesures de verdissement à l'ensemble de la ville pour obtenir un maillage uniforme dans l'ensemble de l'espace urbain. Les mesures d'aménagement du territoire doivent s'adapter au changement climatique et prendre mieux en compte les caractéristiques de végétalisation et de gestion de l'eau.

D'autres acteurs peuvent intervenir dans l'adaptation au changement climatique et aux îlots de chaleur, comme les habitants. Par exemple à Marseille, une chartre a été établie autorisant les habitants à reverdir eux-mêmes leurs rues (AGAM, 2018). Certaines mesures de verdissement des villes sont en effet directement mises en place pour les habitants, comme les trottoirs fleuris, mais leur impact sur la température reste négligeable. Il faut pouvoir différencier les mesures apportant simplement la nature en ville, de celles permettant en plus de réduire les îlots de chaleur.

3. ETUDES DE CAS

3.1. Présentation des études de cas

Afin de répondre à notre problématique, nous nous sommes appuyées sur l'étude de trois villes : Marseille et Tours en France, ainsi que Barcelone en Espagne (Figure 6).

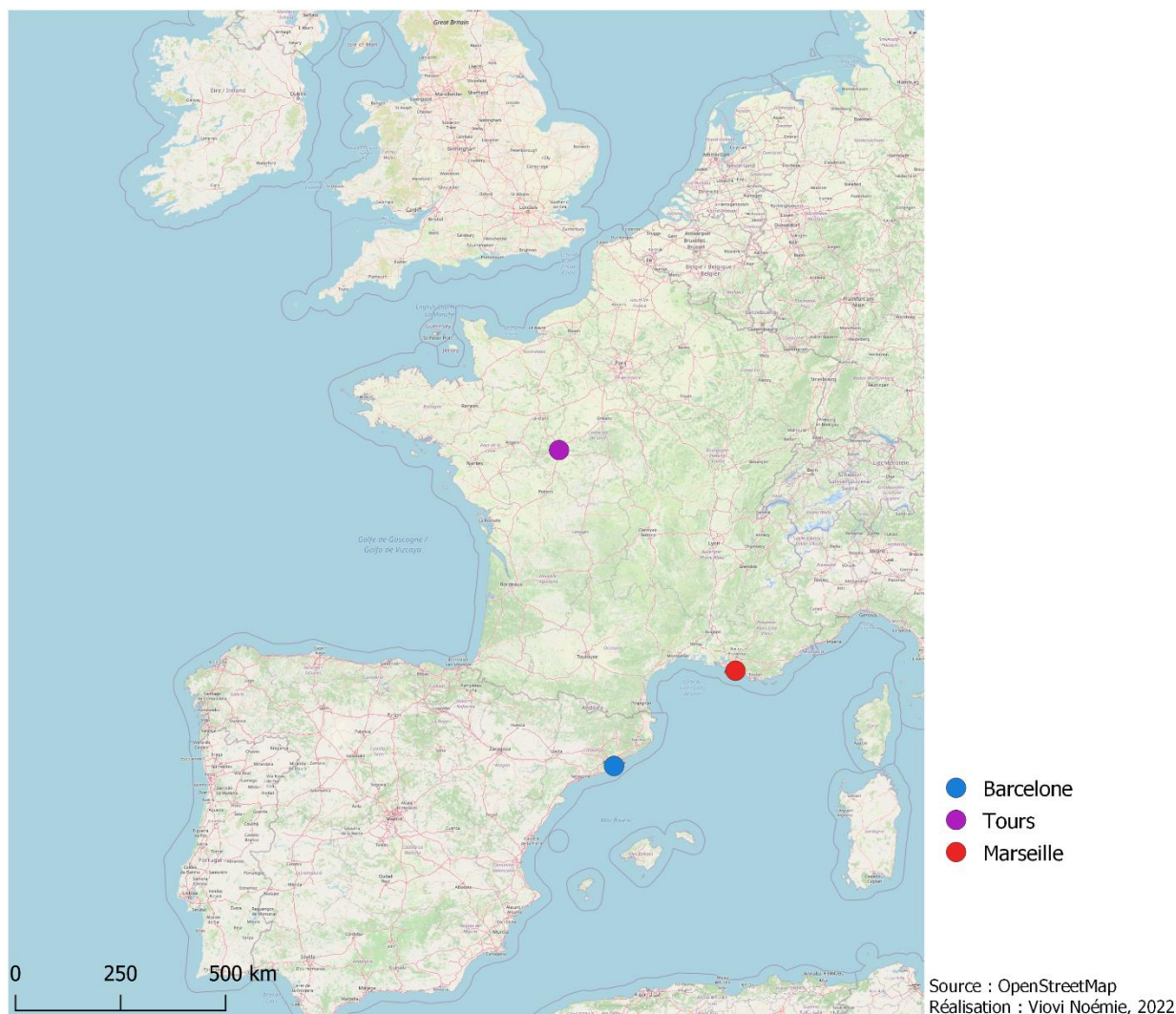


Figure 6 : Cartographie des études de cas - Tours, Marseille et Barcelone

Ces choix ont été faits par rapport au contexte climatique. En effet, les climats tels que nous les connaissons aujourd'hui évoluent et se déplacent. Le climat méditerranéen, chauds et secs, sera celui de l'ouest de la France dans quelques années. Les villes de Marseille et de Barcelone sont équivalentes en termes de type de climat et de nombre d'habitant, bien que la ville de Barcelone soit bien plus dense. L'étude de ces deux villes méditerranéennes nous permettra de proposer des recommandations qui seront applicables dans d'autres régions en France et en Europe. Le cas de la ville de Tours est à plus petite échelle mais ce n'est pas pour autant que la problématique des îlots de chaleur urbains n'existe pas. Au contraire, cela nous permettra peut-être de mettre en évidence certaines difficultés, ou d'en réfuter d'autres, notamment pour les limites liées à la taille d'une commune.

Tableau 2 : Caractéristiques principales des 3 études de cas (ADEME, 2021; Dossier complet – Commune de Marseille (13055) | Insee, s. d.; Dossier complet – Commune de Tours (37261) | Insee, s. d.; El web de la ciutat de Barcelona | Ajuntament de Barcelona, 2015)

Etudes de cas	Marseille	Barcelone	Tours
Superficie	240.62 km ²	146.40 km ²	34.7 km ²
Population	868 277 (2018)	1.6 millions (2018)	136 463 (2018)
Densité	3 608 hab/km ²	16 576 hab/km ²	3 936.1 hab/km ²
Climat	Tempéré chaud Type méditerranéen	Tempéré et méditerranéen	Tempéré / océanique
Géographie	Massifs montagneux : Estaque, Garlaban, Saint-Cyr, Marseilleveyre Cours d'eau : Huveaune, Caravelle Mer Méditerranée	Montagnes : Serra Collserola Fleuves : Besos et Llobregat Mer Méditerranée	Fleuves : Loire et Cher Paysage ligérien

Pour chaque commune, nous avons étudié les documents d'urbanisme et les programmes d'adaptation au changement climatique (Tableau 2). Nous avons regardé les projets mis en place dans le cadre de végétalisation, les acteurs participant à ces projets, et les résultats quand il y en avait.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence des points communs quant aux limites des stratégies de lutte contre les îlots de chaleur dans ces trois villes. De plus, nous avons pu identifier des pratiques qui pourraient être répliquées dans d'autres communes.

3.2. Résultats

À partir des 3 études de cas, nous avons identifié différents indicateurs nous permettant de les comparer. Ainsi, nous pourrions constater les différences et les points communs entre ces villes par rapport à leur investissement face au changement climatique, et plus particulièrement face aux îlots de chaleur urbains. Tout d'abord, nous verrons l'emplacement des îlots de chaleur dans ces villes en mettant en évidence les sites les plus sensibles et en identifiant les points de fraîcheur déjà existants. Ensuite, nous verrons le mode de gouvernance en place dans chacune de ces études de cas, les stratégies mises en place et les projets en cours d'élaboration. Pour terminer, nous verrons le foncier disponible, la répartition des sols et les espaces végétalisés existants.

3.2.1. Identification des îlots de chaleur

En France, les études sur les îlots de chaleur sont souvent réalisées par les agences d'urbanisme, en collaboration avec les municipalités et les aires métropolitaines (Tableau 3). Les agences d'urbanisme ont en effet pour rôle d'aider les élus à la prise de décision, en anticipant les problématiques. Suite au diagnostic du territoire, ils sont en mesure d'identifier les secteurs prioritaires et de proposer des idées de projets adaptées aux besoins de la ville. Ils forment alors une base de données pour les élus, qui auront les connaissances nécessaires pour proposer des projets en adéquation avec le changement climatique.

Tableau 3 : Indicateurs d'identification des îlots de chaleurs urbains sur les 3 sites étudiés (AMB, 2015; ATU, 2020; Aupa, 2019)

	Marseille	Barcelone	Tours
Sites identifiés sensibles aux ICU	Faisceaux ferroviaires Zones d'activités Zones plus sensibles : canyons urbains à l'est et au nord de la ville	Cœur de l'ICU : Plaza de la Universidad Port, aéroport Centre-ville	- Tours nord : zones d'activités - Tours centre : centre historique et zones résidentielles - Tours sud : zones d'activités
Ilots de fraîcheur (parcs, jardins etc.)	Mer Méditerranée Bassin du Vallon Dol Parc Borely Parc du golf Parc de la Moline Parc François Billoux	Mer Méditerranée Fleuves Besos et Llogregat Parc Agravi Jardins autour du Castell de Montjiuc	Loire et Cher Jardin des Prébendes Lac de la Bergeonnerie Parc de Grandmont Bois de Chambray Parc des Bretonnières
Niveau de connaissances des ICU	Etude sur les ICU par l'AGAM ⁶	Etude via le Plan climat (Pla Clima, 2018) par la région métropolitaine de Barcelone	Etude sur les ICU par l'ATU ⁷

Dans l'ensemble de ces territoires, nous pouvons observer que les îlots de chaleur sont situés au niveau des centres-villes, dans les quartiers historiques, lieux où les rues sont souvent plus étroites. Les zones d'activités sont également des lieux où la température de surface est la plus élevée à cause des parkings, des voies de circulation et des bâtiments. Les cartographies des trois études de cas n'ont pas été réalisées à la même période, nous pouvons constater que les températures mesurées à Barcelone sont bien inférieures à celles de Tours et Marseille. Cela reste une difficulté au croisement des informations entre ces villes. Malgré cette différence, nous avons pu établir les mêmes conclusions quant aux sites les plus sensibles aux ICU.

⁶ AGAM : Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise

⁷ ATU : Agence d'urbanisme de l'agglomération de Tours

À Marseille, c'est notamment le centre-ville et les quartiers situés le long du port qui sont le plus impactés (Figure 7 : zones orange foncé). C'est au niveau de ces derniers quartiers que le projet Euroméditerranée prévoit un vaste programme de végétalisation. À Tours, 3 sites ont été identifiés comme prioritaires face à l'augmentation des températures : le centre-ville, la zone commerciale autour de l'enseigne Auchan à Tours Nord, et un espace à Tours Sud où un ancien ruisseau a été enfoui (Figure 9 : zones en violet). Enfin, une étude sur Barcelone a montré que le cœur du principal ICU se situait au niveau de la place de l'université, même si nous pouvons identifier plusieurs points chauds dans le centre-ville, notamment autour des grands axes de circulation (Figure 8).

Nous pouvons également noter des points de fraîcheur dans l'ensemble des territoires, identifiant les parcs et autres structures de végétation dans les villes. Cependant, pour aménager un quartier en prenant en compte la température de surface, il faut l'étudier à l'échelle de l'ilot. Sur les cartes présentées ici, nous avons une vue d'ensemble sur les villes. Certains aménagements plus réduits peuvent avoir un effet de rafraîchissement, mais à une échelle plus réduite. C'est pourquoi l'ensemble des ilots de fraîcheur n'ont pas pu être identifiés.

Notons que Barcelone et Marseille profitent de la mer pour rafraîchir leurs territoire, même si l'effet reste limité dans l'espace. À Tours, le Cher, la Loire et les différents lacs, marquent des points de fraîcheur essentiels sur le territoire. Les espaces naturels en périphérie des villes jouent un rôle important, et doivent être pris en compte pour créer un maillage d'espaces verts entre le milieu rural et urbain.

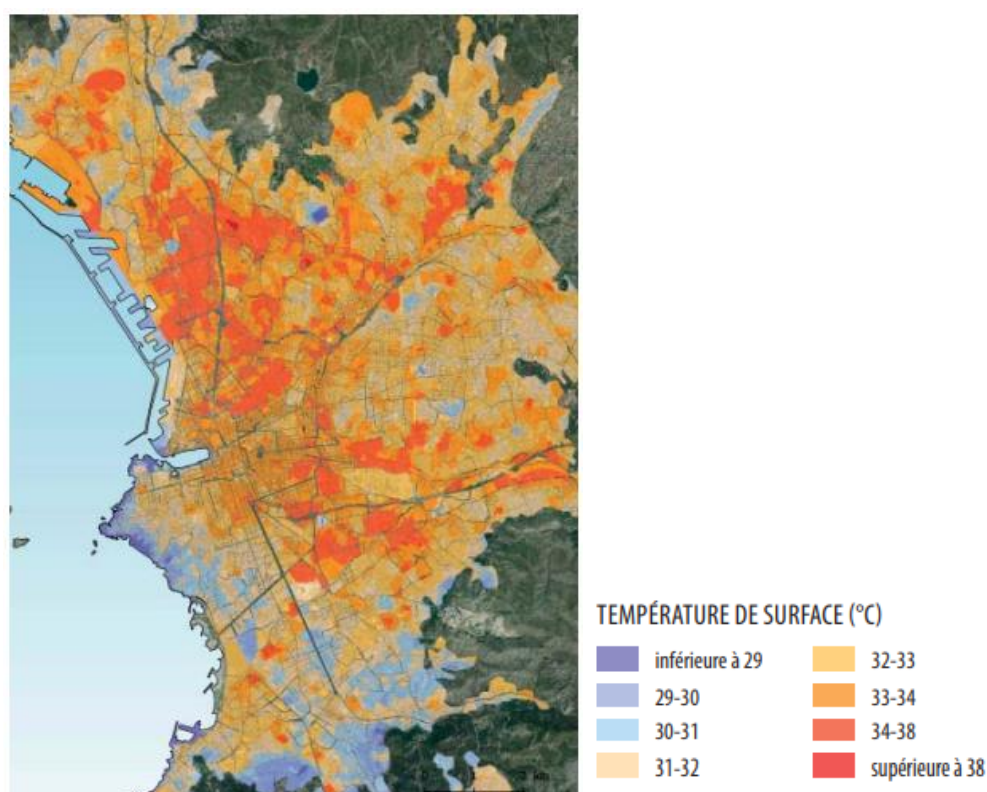


Figure 7 : Carte des températures de surface (°C) de Marseille (source : AGAM, 2020 ; Images Landsat5 retraitée du 05 août 2015 et Landsat8 retraitée du 07 août 2016, à 10h résolution 30m, EarthExplorer ; DGFIP Cadastre PCI 2012 et 2015 ; Orthophoto 2014 Région PACA – CRIGE ; AGAM 2018)

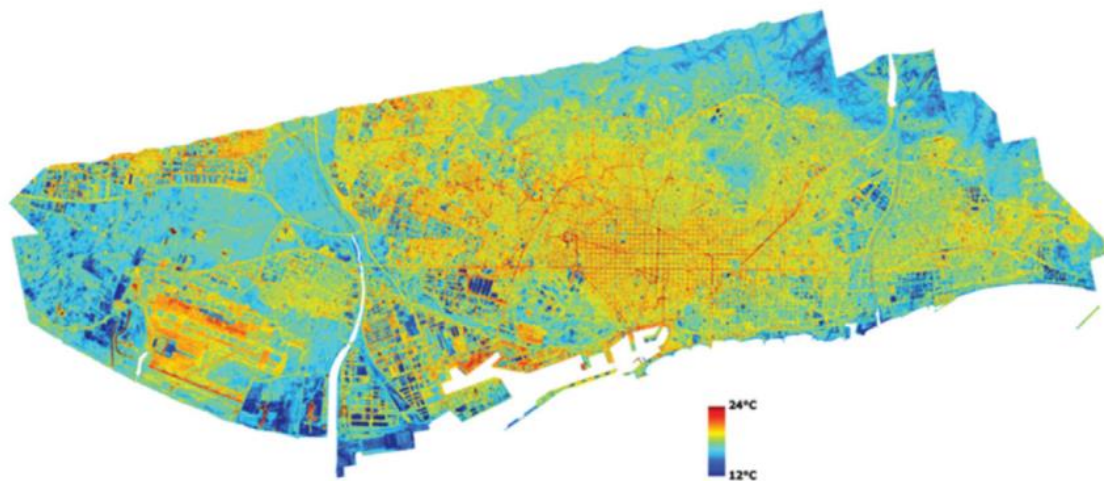


Figure 8 : Carte des températures de surface (°C) à Barcelone à partir de données de 2014 (source : Pla Clima, 2018 ; Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya - Barcelona Regional, 2014)

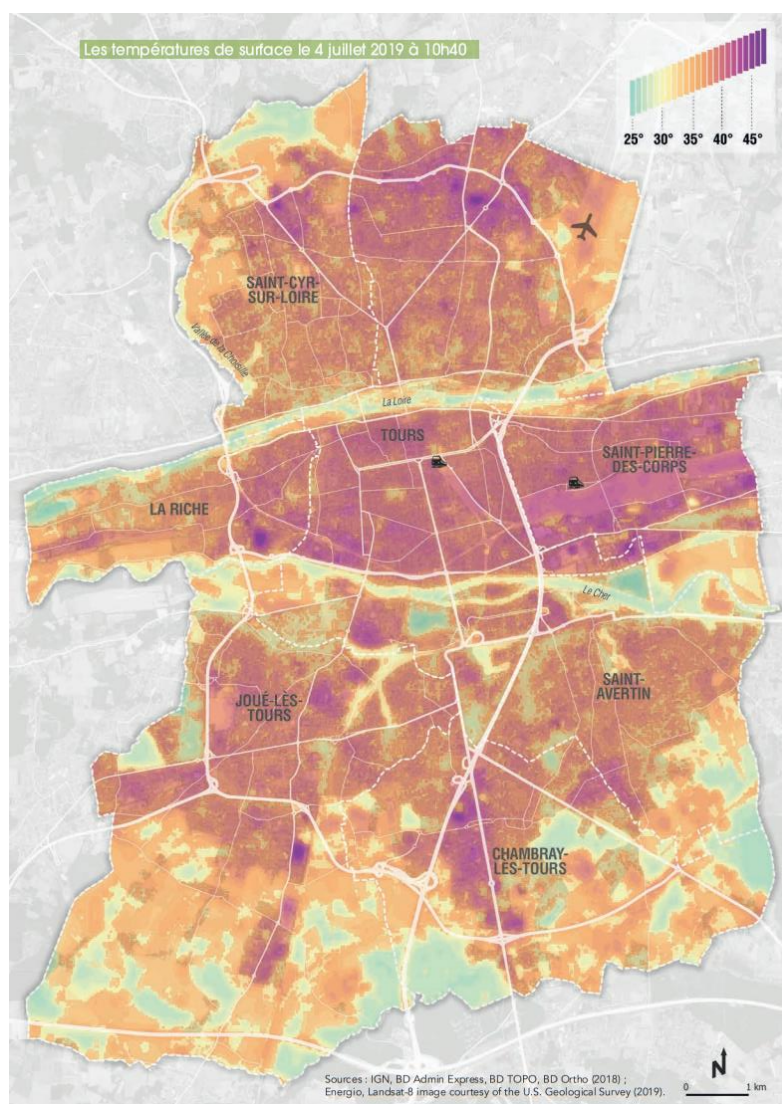


Figure 9 : Carte des températures de surface (°C) de Tours du 4 juillet 2019 à 10h40 (source : ATU, 2020 ; IGN, BD Ortho, Landsat8 image)

3.2.2. Les systèmes de gouvernance

Tableau 4 : Indicateurs de comparaison des systèmes de gouvernance des 3 sites étudiés (Ajuntament de Barcelona, s. d.-b, s. d.-a, 2017, 2020; Écoquartier Smartseille, s. d.; Ville de Tours, 2020b, 2020a, 2021b, 2021a)

	Marseille	Barcelone	Tours
Gouvernance en place	Nouveau CM ⁸ depuis 2020 : parti de gauche	Nouveau CM depuis 2019 : parti de gauche	Nouveau CM depuis 2020 : passage à un parti écologiste
Planification	PLU et PADD (2020) Plan Climat Energie Territorial (2012) Rapport de développement durable (2020-2021)	Multiples plans et programmes : - Plan Natura (2021-2023) - Plan Vert et Biodiversité (2012-2020) - Plan de promotion des infrastructures vertes (2017) - Plan directeur des arbres (2017-2037) - Plan d'urbanisme (2021)	Par l'ancien CM : PLU et PADD (2020) Par l'actuel CM : - Rapport de développement durable (2020) : chartre d'engagement de la ville - Plan canopée (2020) : pour planter des arbres dans la ville - Plan nature en ville (2020-2026) Atlas de la métropole nature (par l'ATU, 2020) : ICU sur la métropole de Tours
Stratégies	Ville : aménagements sur des parcs existants Projet Euroméditerranée : création de parcs	Engagée via de multiples projets : Exemple du concours des toitures végétalisées	Engagée via de multiples projets : conservation du patrimoine végétal existant et priorisation de secteurs
Budgets 2021	Dépenses de fonctionnement : - 9% à l'environnement - 5% à l'économie et l'urbanisme Dépenses d'investissement : - 14% à l'environnement - 20% à l'économie et l'urbanisme	Dépenses de fonctionnement : - 5.8% au logement et à l'urbanisme - 2.7% à l'environnement Dépenses d'investissement : - 28.87% aux espaces publics (dont 2% pour les parcs) - 15.68% à l'habitat	Dépenses de fonctionnement : 5% à l'aménagement et services urbains, espaces publics Dépenses d'investissement : - 3% aux parcs et jardins - 32% à l'aménagement et services urbains, environnement (1^e secteur dans les dépenses d'investissement)

Les territoires étudiés diffèrent par leur système de gouvernance, mais nous y trouvons des similitudes, notamment entre les deux villes françaises. Pour ces dernières, les documents d'urbanisme ont été réalisés par l'ancienne équipe municipale. Ils sont toujours respectés par les nouvelles équipes, mais les orientations

⁸ CM : Conseillers municipaux

peuvent avoir changé. C'est le cas à Tours, où un maire du parti écologiste est arrivé. La nouvelle équipe a réalisé un référentiel servant de guide pour les acteurs et les projets d'aménagement.

Dans chacun des documents étudiés, la notion d'îlots de chaleur apparaît au moins une fois. Les documents exclusivement dédiés aux îlots de chaleurs urbains sont la plupart du temps rédigés par les agences d'urbanisme, comme nous avons pu l'expliquer précédemment. Dans les documents du type PLU⁹ ou PADD¹⁰, se sont plutôt les stratégies de végétalisation qui sont évoquées, avec l'utilisation importante des termes « nature » ou « biodiversité ». De plus, nous avons pu constater que dans une majorité de cas, l'adaptation au changement climatique est liée à la santé publique.

Le concept des îlots de chaleurs est évoqué dans le PADD de la Ville de Tours. Il apparaît dans la partie sur « la ville qui favorise le bien-être ». Les stratégies connues pour lutter contre les îlots de chaleur sont évoquées en tant qu'actions prévues par la municipalité mais ne sont pas décrites comme des actions de lutte contre les ICU. Ils parlent de végétaliser davantage la ville en vue d'adapter les espaces au changement climatique et de proposer des espaces adaptés à la population. Concernant la végétalisation, elle est développée par le biais d'une trame verte, pour lier les espaces verts déjà existants. De plus, des espèces indigènes et adaptées au climat local seraient utilisées dans la commune. Ces objectifs sont également mis en évidence dans le rapport de développement durable de la Ville de Tours. Ils y ajoutent deux points : le premier concerne le pourcentage d'espaces arborés dans la zone urbaine de Tours, qui n'est que de 12%. La ville souhaite alors augmenter le nombre d'arbres. Elle a commencé ce projet en 2020, où 1000 arbres et 300 arbustes ont été plantés, majoritairement dans une seule zone, et qui forment plusieurs strates. Le but de cette action est de favoriser la biodiversité à un endroit donné et de lutter contre le changement climatique. Le deuxième point concerne l'intégration de stratégies de végétalisation dans les projets urbains. Intégrer la végétation aux constructions d'habitats ou de bureaux serait une étape importante. Enfin les mesures concernant l'adaptation au changement climatique sont souvent accompagnées de mesures d'atténuation ou de mesures concernant la rénovation énergétique du bâti existant.

Nous avons pu identifier des éléments similaires dans les documents d'urbanisme de Marseille. En effet, c'est dans le PADD que nous pouvons trouver des notions liées aux îlots de chaleur urbains. Pour répondre à cette problématique, la municipalité a pour objectif de favoriser les espaces de nature en créant une trame verte et bleue. Ces espaces deviendraient un support pour la biodiversité et permettraient l'accueil du public. L'objectif est ainsi double : améliorer la qualité de vie des habitants et améliorer les habitats. Des stratégies similaires à celles évoquées dans les documents de Tours sont retrouvées, comme la création de parcs et jardins publics, la préservation et la restauration des espaces verts, la création d'un maillage de végétalisation au cœur de la ville et l'utilisation d'espèces indigènes.

En plus des décisions locales, la ville de Marseille fait partie d'un projet à plus grande échelle : Euroméditerranée. Ce projet a pour objectif de développer de nouvelles solutions innovantes afin d'imaginer la ville méditerranéenne durable. Il se concentre autour de 4 thématiques : la solidarité énergétique, les nouvelles mobilités décarbonées, l'économie circulaire et le confort d'habiter en milieu méditerranéen. Nous nous sommes intéressées à un projet en particulier : la création du parc des Aygalades. Il s'agit de la renaturation d'un ancien ruisseau, jouant ensuite le rôle de zone tampon lors des inondations, et d'îlots de fraîcheur pendant les épisodes de fortes chaleurs.

Enfin, concernant la ville de Barcelone, nous avons pu constater un nombre important de plans et programmes liés au changement climatique, comme le Plan Nature (Plan Natura) ou le Plan vert et biodiversité. La municipalité ne travaille pas seule. La participation citoyenne est davantage mise en avant, par exemple pour intégrer de la meilleure façon les espaces verts privés dans le maillage vert de la ville. Un concours est également organisé afin de promouvoir les toitures végétalisées. Cela permet à des acteurs privés de prendre part aux actions municipales et d'avoir un impact sur l'adaptation de la ville au changement climatique. De manière générale, nous retrouvons les mêmes éléments et objectifs que dans les programmes proposés par les villes en France.

⁹ PLU : Plan local d'urbanisme

¹⁰ PADD : Projet d'aménagement et de développement durables

3.2.3. Les espaces disponibles

Tableau 5 : Indicateurs de comparaison des espaces disponibles dans les 3 sites étudiés (Ajuntament de Barcelona, 2017; Plans Locaux d'Urbanisme, s. d.; Ville de Tours, 2020b, 2020a)

	Marseille	Barcelone	Tours
Foncier	Répartition zones PLU : - Urbaines : 35.8% - A urbaniser : 0.35% - Agricoles : 4.69% - Naturelles et forestières : 58.17%	Répartition des zones : - Espaces publics, équipements publics, systèmes de transport : 66% - Urbaines (résidentielles et économiques) : 31% - A urbaniser : 0.13% - Non urbanisables : 1.7%	Répartition zones PLU : - Urbaines : 72% (33% mixte à dominante d'habitat, 13% d'activité économique, 2% de parcs et jardins) - A urbaniser : 0.42% - Agricoles : 1.49% - Naturelles : 21.34%
Végétation existante	12 620 ha de végétation avec les massifs des Calanques, de l'Etoile, du Garlaban et de la Nerthe 2560 ha de nature en ville (arbres, parcs, jardins, végétation hors espaces naturels) 265 parcs et jardins dont 65 > 1ha	2019-2021 : + 20ha d'espaces verts 2030 : +160ha Environ 1.4 millions d'arbres : couvrent 25.20% du territoire (zones boisées, parcs publics, jardins privés) Espaces verts disponibles : - 49.7% : parc naturel des chaînes de montagnes - 29.8% : parcs et jardins publics - 20.5% : espaces verts privés	42% d'espaces végétalisés 57% imperméabilisés 26ha en zone de fauche 62 parcs et jardins 2020 : + 1000 arbres et 3000 arbustes

Une des problématiques principales soulevée est le manque de foncier disponible pour l'ajout de nouveaux espaces naturels en ville. Au travers de l'étude des plans de zonages d'urbanisme des différentes villes, nous avons pu constater la part très faible d'espaces à urbaniser. Les villes étudiées sont denses, composées principalement d'habitations et de zones d'activités laissant peu de place à l'implantation de nouveaux espaces verts. Les villes comme Marseille et Barcelone peuvent tout de même comporter des espaces naturels plus importants que la ville de Tours, notamment grâce au bord de mer et aux montagnes environnantes.

Si nous nous intéressons de plus près à la végétation existante dans ces villes, nous constatons qu'elle apparaît toujours de la même façon au travers des parcs et jardins publics, des jardins privés, des forêts, des montagnes, des fleuves, des lacs et des espaces naturels en périphérie de la ville. Nous constatons également que dans les 3 études de cas, les municipalités tentent de préserver la biodiversité déjà existante, mais également d'en créer de nouvelles. Par exemple, la ville de Tours a pour projet la plantation d'arbres depuis 2020 et cela continue encore aujourd'hui. Ces actions se font en partenariat avec les conseils départementaux, les agences d'urbanisme, mais également les citoyens qui peuvent participer aux ateliers de plantations d'arbres. À Marseille, la création de nouveaux espaces verts est principalement réalisée via le projet Euroméditerranée. Tandis qu'à Barcelone, il existe tout un programme, le Plan directeur des arbres (Pla director de l'arbrat de Barcelona), ayant pour but de donner les axes principaux en matière de planification, de gestion et de conservation du patrimoine arboricole public et privé. À travers ce plan, la ville de Barcelone ne voit plus l'arbre comme une entité unique mais plutôt comme un regroupement d'arbres. Ils considèrent ainsi l'arbre comme un élément essentiel de l'infrastructure verte urbaine.

Les villes expérimentent également les zones de fauche, c'est à dire les zones qui ne sont entretenues qu'une à deux fois par an et où la végétation pousse librement. C'est un autre mode de gestion des espaces verts, dits extensifs, et qui permet à la végétation de pousser librement, avec un entretien limité. À Tours, ces zones de fauche sont de plus en plus présentes au travers des axes routiers, dans le but de diminuer la température de l'air dû à la circulation automobile.

4. DISCUSSION

Les freins aux stratégies de végétalisation ont pu être mis en évidence par les études de cas. Ce sont des limites communes aux différentes villes et aux différents climats.

4.1. Les limites des systèmes de gouvernance

Nous avons pu observer que les discours politiques étaient parfois orientés vers une plus large prise en compte de l'environnement et de l'adaptation au changement climatique. Mais finalement lorsque nous observons les programmes puis les actions concrètes des projets, nous nous rendons compte que la végétalisation apparaît souvent en second plan. Elle devient plutôt un aspect paysager que de stratégies de lutte aux fortes chaleurs. Ce sont le bâti, les voiries et les parkings qui sont les premiers éléments à être pris en compte lors de projets d'aménagement (Clergeau, 2020). Si nous prenons l'exemple de Paris, depuis la canicule de 2003, la ville a mis en place un réseau d'îlots de fraîcheur, rassemblant aujourd'hui plus de 900 lieux. Ce projet fait partie du Plan climat et est affiché comme une stratégie politique prioritaire. Or, dans la mise en pratique, la mise en place de ces lieux n'est que secondaire, voire annexe dans certains cas, dans les décisions d'aménagement. Lorsque les espaces sont aménagés, leur qualité sont variables ou ne sont pas adaptés aux usagers. Enfin, les habitants ne semblent pas connaître les lieux de fraîcheur autour de chez eux (Chambriard, 2021). Nous pouvons donc constater à travers cet exemple, que les îlots de fraîcheur ne sont qu'un levier parmi d'autres dans l'adaptation au changement climatique.

Dans certains documents d'urbanisme ou de programmes liés au changement climatique, nous pouvons retrouver des termes comme « biodiversité » ou « nature », pouvant devenir des arguments de communication pour les habitants. C'est le cas dans l'ensemble des documents des villes de Tours, Marseille et Barcelone. La nature en ville peut aussi être utilisée comme un outil de marketing (Clergeau, 2020). Nous nous posons la question à Tours avec les trottoirs fleuris « A fleur de trottoirs ». Cette stratégie n'est pas vraiment efficace dans la lutte contre les îlots de chaleur urbains, mais elle existe plutôt dans le cadre de l'embellissement de la ville, apportant un avantage pour la santé des habitants. Pourtant elle a été étendue au secteur sauvegardé dans un objectif « zéro carbone 2040 » dans la présentation du budget de la ville. Ainsi, les documents d'urbanisme doivent être des outils de lutte contre les ICU. C'est donc le rôle de la municipalité de prendre part dans la mise en place de ces stratégies (Clergeau, 2020), via les documents d'urbanisme dans un premier temps, puis dans la mise en pratique.

Une autre difficulté observée sur les cas français se situe au niveau des différents échelons de gouvernance. En effet au sein d'une municipalité, nous allons trouver un service pour l'urbanisme, un second pour la gestion des voiries, un autre pour les parcs et jardins etc. Cette multiplication des services administratifs complexifie les prises de décisions. Ainsi, nous pouvons constater un manque de transversalité entre les différents services au sein d'une même commune. Cette transversalité va au-delà de la commune, puisque les échanges entre les différentes échelles de gouvernance peuvent également être limités, entre communes et EPCI par exemple. Il semble nécessaire d'établir une coordination entre, d'une part les services d'une collectivité, et d'autre part entre les échelons de gouvernance. C'est ce qui a été réalisé à Barcelone, où la municipalité a créé son département « Ecologia, Urbanismo y Movilidad », qui est l'équivalent d'un service de direction générale de l'écologie, regroupant les services de l'urbanisme et de la mobilité.

De plus, à ce manque de transversalité, nous pouvons ajouter qu'il n'existe que très rarement de service lié à l'écologie. Or dans le cadre du changement climatique, l'écologie devrait devenir une priorité politique. La biodiversité et la végétalisation devraient également être identifiées comme des processus transversaux, tout comme la voirie (Clergeau, 2020).

Dans certains cas, le manque de mise en place de stratégies peut être associé à un manque de connaissances des phénomènes liés au changement climatique. Il serait alors important de mettre en place des partenariats entre les municipalités et d'autres acteurs, qu'ils soient publics ou privés (Chambriard, 2021). À Tours et dans

les villes voisines, mais aussi à Marseille, c'est l'Agence d'urbanisme qui a étudié l'impact des îlots de chaleur sur différents quartiers. Les agences d'urbanisme jouent un rôle d'accompagnateur et proposent des idées de projets pour répondre aux enjeux de la ville de demain.

Au contraire, des pays comme la Tunisie ou le Maroc utilisent des stratégies pour rafraîchir les espaces. Mais elles se perdent et sont parfois oubliées. En effet, ces pays veulent montrer leur potentiel de développement économique et imitent les architectures des pays occidentaux. Ils construisent des bâtiments avec de grandes surfaces vitrées, non adaptés à leur climat chaud et sec. Il s'agit alors de réinventer ces stratégies et de s'en inspirer, y compris dans les régions hors méditerranée (Chambriard, 2021). Par exemple, des dispositifs traditionnels comme les patio ou les grands porches, ou encore les tours à vent permettent une plus grande circulation de l'air. Ces stratégies permettent de capter les brises marines, et ainsi d'avoir une ventilation naturelle. Ces traditions se perdent, il s'agit de les réinventer pour les adapter aux contraintes urbaines contemporaines. La technologie n'est pas toujours la solution pour rafraîchir les espaces, les solutions passives peuvent être plus efficaces dans certaines conditions (cf. entretien avec Franck Geiling).

4.2. Les limites liées aux caractéristiques des villes

Les villes se densifient de plus en plus, accueillant de nouveaux habitants. En réponse à cette demande, les villes construisent de nouvelles habitations. Or dans le même temps, elles tentent de créer et d'améliorer les espaces verts dans le cœur des villes et des îlots. Nous assistons alors à une pression foncière entre habitations et espaces verts. Mais comme la végétalisation des villes n'est pas encore devenue la priorité de la planification, ce sont souvent les projets d'habitations qui priment. Les promoteurs doivent alors prendre en considération le plus possible la biodiversité et les phénomènes liés au changement climatique dans leurs projets. C'est ce qu'on retrouve dans les engagements des villes étudiées. Par exemple le Plan Nature de la ville de Tours prévoit que chaque habitant dispose d'un jardin public à moins de 300 mètres de chez lui. Cette volonté se décline en différentes stratégies : l'obligation pour les promoteurs de réaliser un état des lieux de la faune et de la flore sur le terrain, l'augmentation de la surface végétalisée dans les nouvelles opérations d'aménagement, et des négociations avec des promoteurs afin qu'ils rétrocèdent à la collectivité des espaces publics (Ville de Tours, 2021a).

En réalité les villes doivent aujourd'hui tout recevoir : construire de nouvelles zones d'habitations, des zones d'activités, posséder des îlots de fraîcheur, permettre un accès à la biodiversité etc. Apporter tous ces éléments est complexe, il n'est pas possible pour une collectivité de décider seule de donner une fonction à un lieu. La planification urbaine doit prendre en compte ces différents éléments pour répondre aux enjeux de demain, avec des priorités. Par exemple dans le cas de la ville de Tours, il a été décidé de protéger les cœurs d'îlots ayant une valeur patrimoniale végétale, c'est-à-dire de préserver la nature au lieu de la réinventer. À Barcelone, les budgets prévus dans le Plan directeur de l'arbre sont essentiellement tournés vers l'entretien et la gestion des arbres déjà existants. Afin d'adapter au mieux la planification, il faut connaître son territoire, les quartiers plus sensibles à la hausse des températures, et ceux où la présence de végétation est déjà importante.

Des conflits d'usage peuvent avoir lieu lorsqu'un terrain se libère ou qu'un projet est proposé. Une alternative peut être l'utilisation de dents creuses par des associations, par exemple pour créer un jardin partagé, en attendant que le projet de construction urbain voit le jour (Clergeau, 2020). Ces conflits d'usage peuvent avoir lieu sur des structures déjà existantes. C'est le cas à Marseille, et dans les villes méditerranéennes en général, où les toitures des habitations sont des lieux de vie à part entière. Mais comme nous avons pu le constater au cours de nos recherches, les toitures peuvent devenir des espaces de biodiversité et de végétation afin de diminuer la température de l'air extérieure, et protéger l'intérieur du bâti. Les toitures végétalisées ne sont pas les seules stratégies possibles face au changement climatique, et l'ensoleillement important de ces régions voient apparaître le développement des panneaux solaires (d'après un entretien réalisé auprès du délégué au développement urbain et à l'aménagement de Marseille).

Finalement, par la diversité de typologie de villes que nous avons étudiée, les facteurs taille et densité ne semblent pas entrer en compte dans la mise en place de stratégies. La ville de Tours est plus petite, mais ce n'est pas pour autant que la question des îlots de chaleur n'est pas prise en compte. Au contraire, l'agence

d'urbanisme a effectué toute une étude pour accompagner les différentes communes de la métropole. Les îlots les plus sensibles sont aujourd'hui connues, et des idées de projets ont été données.

4.3. Les limites provenant des stratégies de végétalisation elles-mêmes

La végétalisation existante déjà en ville n'est pas toujours adaptée au climat local. Ce sont souvent des espèces horticoles plus ou moins gérées par les équipes municipales, ainsi que de quelques espèces spontanées. Ces dernières dépendent des autres espèces trouvées en ville et de leur capacité à se déplacer. Il faudrait donc favoriser la biodiversité en ville avec l'utilisation d'espèces locales et favoriser leur installation spontanée. De plus, la prise en compte de l'environnement autour de la ville permettrait de faire des liens entre le milieu urbain et rural. L'objectif est de créer des corridors écologiques, objectif souhaité par l'ensemble des villes étudiées (Clergeau, 2020).

Dans le choix des plantes, c'est souvent l'esthétique qui prime. Les collectivités étudiées précisent qu'elles souhaitent utiliser des espèces locales, adaptées au climat, mais sans préciser lesquelles. Or de multiples critères sont à prendre en compte dans le choix des espèces (Clergeau, 2020) :

- Adapter aux conditions environnementales locales : selon le climat, l'exposition au soleil, le vent, qui diffèrent avec la hauteur du bâti et la densité urbaine.
- Augmenter le nombre d'espèces et leur diversité : cela permet d'augmenter la survie des espèces, elles seront moins vulnérables aux maladies, et se protégeront entre elles.
- Choisir des espèces adaptées au changement climatique, et qui s'adaptent rapidement à celui-ci. Ces espèces doivent pouvoir résister dans des conditions hydriques plus strictes, et avec une augmentation des températures. C'est le cas notamment des plantes annuelles et des poacées.
- Multiplier les strates végétales.
- Utiliser des espèces natives : des associations existent pour la promotion de telles espèces, par exemple « végétal local » ou « vraies mesicoles ».
- Choisir des espèces capables d'améliorer la qualité des eaux de ruissellement en réduisant la concentration en polluant. C'est le cas des herbacées et de la strate arborée.

De plus, comme nous avons pu le voir avec l'étude des stratégies de végétalisation existantes, certaines ne sont pas compatibles entre elles, ou ne sont pas adaptées au projet souhaité. Par exemple la présence d'arbres et de matériaux à fort albédo. Souvent les projets urbains sont réalisés de sorte qu'ils aient un impact au niveau d'un quartier. À Tours il y a le projet du quartier des Casernes, à Marseille le projet conduit par Euroméditerranée. Ces projets prennent en compte l'adaptation au changement climatique mais ne sont peut-être pas assez ouverts au reste de la ville. Les liens entre les différents projets et les espaces déjà existants doivent être inclus dans la réflexion d'aménagement de la ville durable. Les stratégies identifiées peuvent avoir un effet au niveau de l'îlot ou un effet plus global au niveau de la ville.

Enfin l'ensemble des stratégies étudiées ont montré une plus grande efficacité avec la présence d'eau. Nous pouvons nous demander comment les mettre en place en période de chaleur importante. D'autant plus que la ressource en eau devient de plus en plus rare. C'est une question à approfondir, mais il faut se rappeler que les stratégies de végétalisation ne sont pas les seules à pouvoir adapter la ville au changement climatique. C'est une combinaison de diverses stratégies qui permettra de construire la ville durable.

Les études comparant les bénéfices et les limites des stratégies de végétalisation sont certes de plus en plus nombreuses, mais toutes ne sont pas étudiées de manière homogènes. Nous avons pu constater par exemple un manque d'informations sur les caractéristiques des différentes espèces d'arbres et leur capacité à rafraîchir l'environnement urbain (Rahman, 2019). Afin d'améliorer les stratégies existantes, les municipalités devraient mettre en place un suivi et une évaluation systématique de ce qu'elles mettent en place (ADEME, 2021). C'est ce qu'il manque sans doute dans notre étude, une prise de recul sur les projets mis en place dans les villes. Pour cela, il faut pouvoir interroger les différents acteurs impliqués dans le projet et connaître le territoire. Mais il faut également que les collectivités mettent en place des suivis d'évaluation de leur propre projet.

5. CONCLUSION

Au travers de notre analyse, nous avons pu identifier les facteurs limitant la mise en place de stratégies de végétalisation dans les villes. Les territoires étudiés semblent avoir pris conscience des problématiques liées au changement climatique et tentent de mettre en place des solutions pour rendre leur ville plus résiliente. Mais dans certains cas les programmes rédigés sont plus un moyen de marketing plutôt qu'un réel projet de territoire. Suivant un effet de mode, les élus locaux veulent montrer qu'ils sont engagés dans la lutte du changement climatique. Cela peut être également dû à un manque de connaissances de la part des élus locaux, mais aussi des habitants. C'est pourquoi des partenariats avec d'autres organismes publics ou privés peuvent permettre un échange d'informations et une prise de conscience plus importante. Malgré cela, nous nous rendons compte qu'il reste un temps entre la prise de conscience et la mise en place des stratégies. Cette difficulté peut être liée en partie par un manque de transversalité entre les services municipaux. Aujourd'hui, en France, il n'existe pas vraiment de services consacré à l'écologie, et lorsqu'un projet voit le jour, il doit passer par divers services indépendants les uns des autres (voirie, parcs et jardins, urbanisme...).

D'autres difficultés liées à la gestion des espaces verts, leur entretien et leur coûts peuvent empêcher leur mise en place. La ressource en eau n'a pas été évoquée en premier lieu comme un frein, mais elle est à prendre en compte puisque la plupart des stratégies de végétalisation perdent de leur efficacité en cas de stress hydrique.

De plus, le foncier est apparu comme un facteur important. Les villes sont de plus en plus denses, elles doivent accueillir de nouveaux habitants et en même temps proposer des espaces de fraîcheur et de nature. Il faut arriver à trouver un compromis entre les projets urbains pour y lier la végétalisation. Cependant, même si la création de nouveaux espaces verts n'est pas possible, les communes peuvent aussi faire le choix de protéger et d'améliorer ceux existants déjà. Il faut arriver à identifier les secteurs des villes les plus vulnérables aux îlots de chaleur pour les aménager en conséquence selon ce qui existe déjà et ce qui peut être fait.

Les facteurs comme la taille des villes ou le climat ne sont pas directement liés aux manques de mise en place des stratégies. En effet, dans nos études de cas nous avons pu constater que la ville de Tours semble bien avancée sur les stratégies de végétalisation, tout comme les villes de Marseille et Barcelone. Ces dernières sont pourtant plus denses et font parties de projets à l'échelle européenne. Cela peut s'expliquer par le fait que les stratégies de lutte contre les îlots de chaleur doivent s'effectuer au niveau local, à l'échelle d'un îlot de quartier.

Enfin, il est important de noter qu'il n'existe pas une seule méthode ou stratégie applicable à chaque type de territoire dans la lutte contre les ICU. Il faut adapter à chaque situation et chaque climat les stratégies. En effet, l'efficacité peut varier selon le contexte climatique, notamment avec l'accès à l'eau. De plus, une unique stratégie n'est pas suffisante, il faut une combinaison de solutions adaptées localement. Mais il faut être vigilant, certaines stratégies ne sont pas compatibles entre elles.

Cependant, nous pouvons faire des recommandations sur les stratégies de végétalisation, à adapter toujours selon les contextes locaux. Les stratégies de végétalisation ne sont pas à prendre seules, elles doivent être accompagnées de stratégies liées à la structure spatiale de la ville : la géométrie des bâtiments et des rues, l'exposition au soleil et au vent, l'orientation des façades, l'albédo etc. Souvent on peut constater que les stratégies de lutte contre les ICU sont également des stratégies permettant de diminuer le risque inondation. Il faut également établir un lien entre le milieu rural et urbain, c'est-à-dire agir au niveau de la définition même de l'îlot de chaleur. Pour cela, l'espace urbain doit contenir une trame verte en prenant en compte les éléments naturels à l'extérieur de la ville, comme les montagnes, les fleuves, les bords de mer. La trame verte doit former un maillage à travers les différents parcs de la ville, mais aussi les façades, toitures végétalisées ou autres actions mises en place. Les espèces végétales choisies doivent être indigènes, donc adaptées au climat local, et doivent pouvoir s'adapter au changement climatique. D'autre part, la question de l'eau doit être prise en compte. Les végétaux ont besoin d'un accès à l'eau important, mais le cycle de l'eau est perturbé

en milieu urbain. Il faut alors désimperméabiliser dès que cela est possible pour augmenter les phénomènes d'évapotranspiration.

Pour conclure, l'urbanisme doit évoluer afin de rendre la ville plus durable et résiliente face au changement climatique. La stratégie ultime serait alors l'urbanisme régénératif, utilisant les principes de biomimétisme. S'inspirer de la nature pour construire la ville, et comprendre comment la nature et la biodiversité fonctionnent face au changement du climat, nous permettraient d'adapter nos villes. Dans cet objectif, la ville n'est plus considérée comme une entité unique, mais appartenant à un système et un cycle possédant toutes les ressources pour fonctionner durablement.

- ADEME. (2021). *Rafraîchir les villes, des solutions variées*.
- ADEUS. (2012). *Les notes de l'ADEUS n°71 : Environnement—Agence de développement et d'urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise (ADEUS)*.
<http://www.adeus.org/productions/les-notes-de-ladeus-ndeg71-environnement>
- AGAM. (2018). *Chaud dehors ! De la fraîcheur face aux îlots de chaleur urbains*.
<https://www.agam.org/wp-content/uploads/2020/04/75.pdf>
- Ajuntament de Barcelona. (s. d.-a). *Pla Clima—Resum executiu efecte illa de calor*. Consulté 17 janvier 2022, à l'adresse https://www.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/sites/default/files/documents/re_illa_de_calor_placlima.pdf
- Ajuntament de Barcelona. (s. d.-b). *Pla d'Impuls a la Infraestructura Verda | Ecologia, Urbanisme, Infraestructures i Mobilitat*. Consulté 17 janvier 2022, à l'adresse <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/que-fem-i-per-que/ciutat-verda-i-biodiversitat/pla-infraestructura-verda>
- Ajuntament de Barcelona. (2017). *Pla director de l'arbrat de Barcelona*.
<https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Pla-director-arbrat-barcelona-CA.pdf>
- Ajuntament de Barcelona. (2020). *Memòria explicatva pressupost 2021*.
<https://ajuntament.barcelona.cat/pressupostos2021/docs/2021/nous/Mem%C3%B2ria%20explicatva%20pressupost%202021%20VF.pdf>
- AMB. (2015). *La isla de calor en el area metropolitana de Barcelona y la adaptacion al cambio climatico*.
http://www3.amb.cat/repositori/CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS_UHI.pdf
- Anquez, P., & Herlem, A. (2011). *Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : Causes, impacts et solutions*.

https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF

Apur. (2020, mars 3). *Atténuer les îlots de chaleur urbains - Cahier n°5 : Méthodes et outils de conception des projets*. Apur. <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/attenuer-ilots-chaleur-urbains-cahier-5-methodes-outils-conception-projets>

ATU. (2020). *Atlas de la métropole nature pour végétaliser et désimperméabiliser la ville*.

Aupa. (2019). *Diagnostiquer les îlots de chaleur urbains*. https://aupa.fr/wp-content/uploads/2020/07/ICU-Cahier2_Vf_dec2019.pdf

Bernard, J., Marjorie, M., & Marie, H. (2020). *Rafraîchissement des villes : Solutions existantes et pistes de recherche*. 16.

Bertrand, F., & Richard, E. (2015). La délicate existence locale de l'adaptation aux changements climatiques : Avec, sans, ou à côté de l'atténuation. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, Vol. 6, n°3, Article Vol. 6, n°3. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11048>

Chambriard, P. (2021). *De la gestion à la perception des îlots de fraîcheur : Quelle adaptation au changement climatique dans l'espace public parisien ?*

Clergeau, P. (2020). *Urbanisme et biodiversité, vers un paysage vivant structurant le projet urbain* (Apogée).

Dossier complet – Commune de Marseille (13055) | Insee. (s. d.). Consulté 18 janvier 2022, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-13055>

Dossier complet – Commune de Tours (37261) | Insee. (s. d.). Consulté 18 janvier 2022, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-37261>

Écoquartier Smartseille. (s. d.). Eiffage Construction. Consulté 17 janvier 2022, à l'adresse <https://www.eiffageconstruction.com/metiers/realisations/ecoquartier-smartseille>

El web de la ciutat de Barcelona | Ajuntament de Barcelona. (2015, janvier 3). Web de Barcelona. <https://www.barcelona.cat/ca/home>

- Greuillet, C. (2013). L'îlot de chaleur urbain et le lien avec la qualité de l'air Urban heat island and linkage with air quality. *POLLUTION ATMOSPHERIQUE*, 10.
- IAU. (2014). *La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche zones climatiques locales*.
https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1103/NR_661_web.pdf
- Joffroy, T., Misse, A., Celaire, R., & Rakotomalala, L. (2017). *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02025559>
- Les îlots de chaleur à la croisée des enjeux de l'urbanisme*. (s. d.). Consulté 17 janvier 2022, à l'adresse <https://auran.org/dossiers/les-ilots-de-chaleur-la-croisee-des-enjeux-de-lurbanisme-0>
- Ministère de la transition écologique. (2018). *Changement climatique : Causes, effets et enjeux*. Ministère de la Transition écologique. <https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>
- Plans Locaux d'Urbanisme*. (s. d.). Métropole Aix-Marseille-Provence. Consulté 18 janvier 2022, à l'adresse <https://www.ampmetropole.fr/plu>
- Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?* (s. d.). Consulté 17 janvier 2022, à l'adresse <https://auran.org/content/quest-ce-quun-ilot-de-chaleur>
- Rahman, M. (2019). *Traits of trees for cooling urban heat islands : A meta-analysis*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319308182>
- Réseau Action Climat. (2014). *Le 5ème rapport du GIEC décrypté | Accueil*.
<https://leclimatchange.fr/>
- Salat, S. (2011). *Les villes et les formes sur l'urbanisme durable*. Hermann.
- Tavin, A., & Leseur, A. (2016). *Végétaliser la ville*. <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2016/11/1125-I4CE-EtudeClimat52-VegetaliserLesVilles.pdf>
- Terrin, J.-J., Marie, J.-B., Bidet, Y., Chancibault, K., Ecolan, A., Filpa, A., Foissard, X., Geiling, F., Hidalgo, J., Houet, T., Jutras, P., Leproust, C., Mallet, A., Martin Vide, J., Mary, P.,

Montlleo, M., Montuori, L., Musy, M., Ombuen, S., ... Sanroma, I. (2015). *Villes et changements climatiques—Îlots de chaleur urbains* (Parenthèses).

Vagues de chaleur et changement climatique | Météo-France. (s. d.). Consulté 19 janvier 2022, à l'adresse <https://meteofrance.com/changement-climatique/observer/changement-climatique-et-vagues-de-chaleur>

Ville de Tours. (2020a). *Rapport de développement durable*.

Ville de Tours. (2020b). *Rapport de présentation PLU Tours*.

Ville de Tours. (2021a). *Plan Nature en ville*.

Ville de Tours. (2021b). *Présentation du budget primitif 2021*.

TABLE DES MATIERES

Avertissement	3
Remerciements	5
Sommaire	6
Table des figures.....	7
Table des tableaux.....	7
1. Introduction.....	8
1.1. Intérêt de l'étude.....	9
1.2. Problématique et hypothèses	10
1.2.1. Les caractéristiques des villes.....	10
1.2.2. La gouvernance, le coût et l'entretien	10
1.2.3. La ressource en eau	11
1.3. Méthodologie	11
2. Etat de l'art	13
2.1. Définitions	13
2.1.1. Agir sur le changement climatique : les notions d'atténuation et d'adaptation	13
2.1.2. Un enjeu des villes urbanisées : les ilots de chaleur urbains	14
2.2. Méthodes d'analyse existantes des ilots de chaleur.....	15
2.3. Les stratégies de végétalisation	16
3. Etudes de cas	19
3.1. Présentation des études de cas.....	19
3.2. Résultats	21
3.2.1. Identification des ilots de chaleur	21
3.2.2. Les systèmes de gouvernance	24
3.2.3. Les espaces disponibles.....	26
4. Discussion	28
4.1. Les limites des systèmes de gouvernance.....	28
4.2. Les limites liées aux caractéristiques des villes	29
4.3. Les limites provenant des stratégies de végétalisation elles-mêmes	30
5. Conclusion	31
Bibliographie	33
Table des matières	37

Directeur de recherche
Vincent Rotgé

Noémie Viovi
PFE/DAE5
Ingénierie Territoriale Internationale
2021-2022

Prendre en compte le climat dans l'urbanisme et le logement : les mesures d'adaptation

Résumé : Le changement climatique nous contraint d'adapter les villes à de nombreuses problématiques. L'augmentation des températures en fait partie, entraînant la formation d'ilots de chaleur urbains. Diverses stratégies existent afin d'adapter les villes, les habitats, les lieux de rencontres et les espaces verts. Il existe des stratégies visant les infrastructures, les formes des bâtiments, la place de la végétation ou encore la participation des habitants. Cependant, il semble qu'elles ne soient pas systématiquement mises en place. Au travers de trois études de cas, Marseille, Barcelone et Tours, nous allons tenter d'identifier les facteurs limitant la mise en place de ces stratégies, et plus particulièrement des stratégies de végétalisation. Nous verrons également ce qu'est un îlot de chaleur, les enjeux qui suivent, les stratégies de végétalisation existantes et les indicateurs à prendre en compte pour une meilleure gestion des îlots de fraîcheur.

Mots Clés : Ilots de chaleur urbains, adaptation, végétalisation, changement climatique, gouvernance, stratégies