



HAL
open science

Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?

Pauline Recurt

► **To cite this version:**

Pauline Recurt. Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03000926

HAL Id: dumas-03000926

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03000926>

Submitted on 12 Nov 2020

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

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

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

<p>Année universitaire : 2019 - 2020</p> <p>Spécialité : Paysage</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) :</p> <p>Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> D'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

**Dans quelles mesures les nouvelles techniques
d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?**

Par : Pauline RECURT

Soutenu à Angers le 24 Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : **Elise GEISLER**

Maître de stage : **Aurélien ADAM**

Enseignant référent : **Emeline ESCATS GUILLOU**

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, je remercie l'agence Résonance Urbanisme & Paysage d'avoir accepté de m'accueillir pendant six mois pour réaliser mon stage de fin d'études dans cette période compliquée au vu de la situation liée à la crise sanitaire de la Covid-19. Plus particulièrement, je remercie Aurélien Adam, mon maître de stage, qui a su me faire partager son expérience ainsi que celle de son équipe. Ceci m'a permis d'acquérir plus d'expérience et plus d'autonomie dans le métier de paysagiste-concepteur, mais également d'appliquer mes connaissances théoriques acquises au long de mes quatre années d'études.

Dans un deuxième temps, je souhaite avoir une attention particulière pour mon école Agrocampus-Ouest qui m'a permis de réaliser ce mémoire et concrétiser mes années d'études d'ingénieurs. Je souhaite, par ailleurs, remercier ma tutrice pédagogique, Emeline Escats Guillou, qui m'a accompagné et soutenu tout au long de ce mémoire.

Ensuite, je tiens également à remercier mon entourage, particulièrement Nathan Fougeron, Noémie Robert, et Elise Maudry, pour m'avoir encouragé et conseillé pour la rédaction de ce mémoire. Leur aide précieuse a contribué à la bonne réalisation de ce projet.

Enfin, j'adresse un grand merci à ma famille. Elle m'a guidé et soutenu dans mes choix. Elle m'a également donné les moyens de suivre le cursus d'ingénieur malgré la distance. Elle est pour moi ma force pour avancer et accomplir mes ambitions.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	5
GLOSSAIRE	9
ABREVIATIONS	10
TABLE DES FIGURES.....	11
TABLE DES TABLEAUX.....	12
LISTES DES ANNEXES.....	12
INTRODUCTION.....	1
1 PARTIE 1 : UN PHENOMENE COMMUN AUX ENTITEES URBAINES	3
1.1 QU'EST-CE QU'UN AMENAGEMENT URBAIN ?.....	3
1.2 QU'EST-CE QU'UN ILOT DE CHALEUR URBAIN ?	3
1.2.1 Définitions	3
1.2.2 L'origine de la formation des ICU	6
1.3 QUELS FACTEURS INFLUENCENT LES ICU ?	7
1.3.1 Structure urbaine (morphologie, densification)	7
1.3.2 Facteur «vu du ciel»	9
1.3.3 Le comportement des matériaux.....	10
1.3.4 L'activité humaine	11
1.3.5 Confort d'été à l'intérieur.....	11
1.3.6 La végétation.....	12
1.3.7 La brise thermique.....	12
1.4 QUELLES CONSEQUENCES ?	13
1.4.1 Création d'un inconfort thermique.....	13
1.4.2 Impact sur la santé humaine	13
1.4.3 L'impact sur l'utilisation des énergies	13
1.4.4 L'impact sur l'environnement.....	14
1.5 LES OUTILS DE MESURES ET DE TRAITEMENT DES DONNEES	14
1.6 LES ENJEUX.....	16
2 PARTIE 2 : UN NOUVEAU SYSTEME DE CONCEPTION	16
2.1 LA RENOVATION DU GRAND BELLE-BEILLE, UN CAS CONCRET DE RENOUVELLEMENT URBAIN.....	17
2.1.1 Le projet, son contexte et ses objectifs.....	17
2.1.2 Modèle urbain durable	17
2.1.2.1 Infrastructures.....	17
2.1.2.2 Stratégie de construction	18
2.1.3 Stratégie végétale	19
2.1.4 Gestion de l'eau.....	20
2.2 PROJET DE LA VILLE DE MONTREAL, QUEBEC.....	20
2.2.1 Présentation du projet : son contexte et ses objectifs.....	20
2.2.2 Modèle urbain durable.....	21
2.2.2.1 Infrastructures.....	21
2.2.2.2 Stratégie de construction	22
2.2.3 Stratégie végétale	23
2.2.4 Gestion de l'eau.....	24
2.3 LES LIENS ENTRE LES PROJETS	25
3 PARTIE 3 : LES PRINCIPES MISE EN ŒUVRES POUR REDUIRE LES ILOTS DE CHALEUR URBAINS	29
3.1 IMPACT DES NOUVEAUX AMENAGEMENTS SUR LE CLIMAT	29
3.1.1 Efficacité de la végétation	29
3.1.2 La dés-imperméabilisation à quel prix.....	30
3.1.3 Pertinence de l'utilisation des ressources.....	30

3.1.4	<i>Performance du réemploi/ nouvelle technique d'aménagement (pollution, durabilité, ...)</i>	31
3.2	LES LIMITES ET LES MANQUES POUR ABOUTIR A UN PROJET ADAPTE.....	31
3.3	DES TECHNIQUES A EXPERIMENTER.....	32
3.4	ÉVALUER A COURT ET LONG TERMES	36
	CONCLUSION	39
	BIBLIOGRAPHIE.....	40
	SITOGRAFIE.....	42
	ANNEXE I : LES 20 ENGAGEMENTS POUR INTEGRER LA CHARTE ECOQUARTIER, APPLIQUES AU QUARTIER DE BELLE-BEILLE	44
	SOURCES : RENOUVELLEMENT VERT DU GRAND BELLE-BEILLE, DOCUMENT GUIDE, ANNEXE I, 2018	44
	ANNEXE II : PLAN GUIDE.....	45
	ANNEXE III : DESENCLAVER LE QUARTIER DE BELLE-BEILLE	46
	ANNEXE IV : ILLUSTRATION DES POSSIBILITEES DE MUTATION.....	47
	47
	ANNEXE V : ORIENTATIONS PAYSAGERES.....	48
	ANNEXE VI : DOCUMENT RECAPITULATIF DES PROTECTIONS SOLAIRES EXTERIEURES.....	49
	ANNEXE VII : ARPGIS UN LOGICIEL DE RELEVÉ CARTOGRAPHIQUE (SIG).....	50

GLOSSAIRE

Agrégats d'enrobé (AE) = Le processus de recyclage des enrobés forme des agrégats d'enrobés, qui sont formés à partir de démolition de couches bitumineuses des chaussées ou à partir des surplus de centrales d'enrobage. Ces AE sont remélangés à des agrégats « neufs » et des liants, formant un nouvel enrobé.

Anthropique = Élément en lien direct ou indirect avec les activités humaines.

Bilan radiatif = Equilibre entre l'énergie stockée par les corps et celle réfléchi. Lorsque que le bilan est nul les températures sont stables.

Bitume = Le bitume est un mélange d'hydrocarbures originaires de la distillation du pétrole utilisé pour fabriquer l'enrobé.

Cœur d'ilots = Le cœur d'ilots est la partie centrale d'un ilot. Ce dernier est une unité urbaine qui peut être partiellement construite et qui est délimitée par des voies de circulation.

Eclats de cristallin = Utilisation d'éclat de verre dans le béton pour augmenter son facteur réfléchissant.

Energies grises = C'est l'ensemble des énergies utilisées dans le cycle de vie d'une construction ou d'un objet. Cela comprend une multitude d'étapes comme l'extraction, le transport, la transformation, l'emballage, le stockage, le fonctionnement, etc.

Enrobé = Revêtement composé de particules solides (granulats) liées par un liant hydrocarboné (bitume). Il est régulièrement utilisé pour créer des couches de roulement sur les chaussées.

Espace d'invitation = Espaces publics extérieurs qui permettent aux habitants de trouver l'usage (détente, sport, etc) qui leur convient. Chaque habitant peut se l'approprier à sa façon.

Evapotranspiration = Mécanisme qui résulte simultanément de l'évaporation de l'eau de surface des matériaux dans l'atmosphère et de la transpiration des plantes (régulation de leur teneur en eau et de leur température).

Déplacements doux ou transport doux = Modes de déplacements qui n'utilisent pas de moteur et ne génèrent pas de gaz à effet de serre (GES), (marche à pied, vélo, roller, trottinette, etc).

Frange urbaine = Délimitation stricte entre différentes typologies de paysage. Une frange entre un milieu urbain et un milieu rural, par exemple.

Ilots ou pâté de maisons ou bloc = Représente une unité homogène d'un ensemble de bâtiments. Le plus souvent un ilot est entouré de rue ou d'un réseau d'espace public.

Noues = Il s'agit d'un ouvrage pour la gestion de l'eau aérienne. Elle est végétalisée, et se différencie d'un fossé par son profil plus évasé et moins profond.

Réglementation Thermique 2012 ou RT 2012 = S'applique sur les bâtiments neufs construits à partir de 2012 et fixe un seuil maximal de consommation d'énergie primaire (chauffage, climatisation, production d'eau chaude, éclairage et les auxiliaires électriques) à 50 kWh/m².an.

ABREVIATIONS

ICU = Ilot de Chaleur Urbain

CLA = Couche limite atmosphérique

CLS = Couche limite de surface

CLU = Couche limite urbaine

GES = Gaz à Effet de Serre

SMOG = contraction de *smoke*, et *fog* (*fumée et brouillard*)

ANRU = Agence nationale pour la rénovation urbaine

PSDD = plan stratégique de développement durable de la collectivité montréalaise.

CMM = Communauté métropolitaine de Montréal

NPNRU = Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain

ANRU = Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine

TOD = Transit Oriented Development (développement axé sur le transport en commun)

PMAD = Plan Métropolitain d'aménagement et de développement

CMM = Communauté Métropolitaine de Montréal

CRE = le Conseil Régional de l'Environnement de Montréal

EP = Eaux pluviales

EU = Eaux usées

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Représentation des ICU en milieu urbain par rapport à sa périphérie (Ressources naturelles Canada 2007)	4
Figure 2: Formation d'îlots de chaleur souterrain (Bigorgne, et Hendel, 2017).....	4
Figure 3: Photographie thermique (rue Parisienne) à la surface du sol (Bigorgne, et Hendel, 2017)	5
Figure 4: Profil des vents dominants modifié par la canopée urbaine (Rullier 2012)	5
Figure 5: Schéma de la circulation du vent au-dessus du tissu urbain (Rullier, 2012).....	5
Figure 6: Schéma de la formation d'un dôme induit par le milieu urbain (Rullier, 2012).....	5
Figure 7: Facteurs participant à la constitution d'ICU (Recurt 2020, traduit de Dubois, 2014 et Perrault 2014)	6
Figure 8: Mécanisme de transfert d'énergie par convection et conduction (Valette et Cordeau, 2010).....	6
Figure 9: L'influence du bâti sur le mouvement d'air (Bigorgne, 2012).....	7
Figure 10: Les typologies urbaines de Paris (Bigorgne, 2020).....	8
Figure 11: Le fonctionnement des arrière-cours et l'importance de leur ventilation (Bigorgne, 2020)	8
Figure 12: Comparaison du rapport de « vu du ciel » sur deux rues différentes (Bigorgne, et Mangold, 2014)	9
Figure 13: L'importance de l'orientation des rues en fonction du rapport de « vu du ciel » (Bigorgne, et Mangold, 2014)	9
Figure 14: L'inertie thermique en milieu urbain (Valette, et Cordeau, 2010).....	10
Figure 15: Les principaux albédos des matériaux utilisés en milieu urbain (Colombert, 2008)...	10
Figure 16: Comparatif de mode de construction à différentes époques entre le 20ème siècle et 21ème siècle (Recurt, 2020).....	11
Figure 17: Effet de la végétation en milieu urbain (Bigorgne, 2012).....	12
Figure 18: Exemple de relevé par station météorologique à Paris ((Bigorgne, 2012).....	15
Figure 19: Etude des îlots de chaleur sur le secteur Beaussier à Belle-Beille (VIZEA, 2020) ...	17
Figure 20: Composition des rues de Belle-Beille (Recurt, 2020).....	17
Figure 21: Principe de bâtiment bioclimatiques (Vu d'ici, 2018)	18
Figure 22:Schéma de principe de la liaison de de la trame bleue et verte (Vu d'ici 2018).....	20
Figure 23:Schéma de principe des espaces multiusages (Vu d'ici 2018).....	20
Figure 24: Représentation cartographique des îlots de chaleur à Montréal en 2015 [2].....	21
Figure 25:Exemple de revêtement perméable utilisé à Montréal (Giguère 2009).....	22
Figure 26: Coupe de principe d'alvéole engazonnée (Recurt 2020).....	23
Figure 27 : Exemple de mur végétalisé (Giguère 2009 ; Hôtel Département Hauts de Seine 2005)	23
Figure 28: Exemple d'aménagement de bio-rétention (Garant, 2009).....	24
Figure 29: Cycle de vie d'un matériau, dans le processus de réemploi (Bertin, Lipsky, Weill 2016)	34
Figure 30: Comparaison de l'efficacité selon 6 indicateurs de différentes essences d'arbres [4]	35
Figure 31: Les 3 domaines et 7 piliers de l'économie circulaire (ADEME 2016).....	36
Figure 32: Frise des différents temps pour évaluer l'évolution des aménagement (Recurt 2020)	37
Figure 33: Exemple de courbe de performance d'un matériau (Recurt d'après Cachalou, 2020)	38

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les réactions des différents matériaux (Bigorgne, et Mangold 2014).....	10
Tableau 2: Caractéristiques des matériaux de surface utilisés en revêtement de toiture (Anquez Herlem 2011)	22

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE I : Les 20 engagements pour intégrer la charte écoquartier, appliquée au quartier de Belle-Beille - Sources : Renouvellement vert du grand Belle-Beille, document guide, ANNEXE II, 2018

ANNEXE II : Plan guide - Sources : Renouvellement vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE II, 2018

ANNEXE III : Désenclaver le quartier de Belle-Beille - Sources : Renouvellement vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE III, 2018

ANNEXE IV : Illustration des possibilités de mutation - Sources : Renouvellement vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE IV, 2018

ANNEXE V : Orientations paysagères - Sources : Renouvellement vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE V, 2018

ANNEXE VI : Document récapitulatif des protections solaires extérieures - Sources : Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut national de santé public Québec, ANNEXE VI, 2009

ANNEXE VII : Arpentgis un logiciel de relevé cartographique (SIG) - Sources : fiche technique Arpentgis, D3E Géospatial, ANNEXE VII, 2020

INTRODUCTION

Le changement climatique est aujourd'hui un thème courant et commun, pourtant souvent remis en question. Néanmoins, des études prouvent bien une augmentation globale des températures (Seguin, Soussana 2008). Des changements climatiques ont déjà été observés dans l'histoire de la Terre, mais aucun n'ont évolué aussi rapidement que celui que nous vivons actuellement. Les études démontrent une évolution des températures entre +/- 2 à +/-4°C alors que jusqu'à présent, pour chaque changement climatique, la moyenne était au maximum de +/- 2°C. Cette forte augmentation est en partie due aux activités anthropiques. Depuis une cinquantaine d'années, il a été observé une augmentation des gaz à effet de serre (GES) à l'origine de la pollution de l'air ce qui entraîne une hausse des températures.

La population mondiale n'a jamais été aussi importante. L'organisation des Nations Unies a estimé que nous étions plus de 7.7 milliards d'individus dans le monde en 2019, et que cette valeur continuera d'augmenter chaque année. Cet accroissement démographique additionné aux évolutions sociétales, a provoqué la désertification des populations des milieux ruraux vers les zones urbaines devenant toujours plus grande. Pour faire face à la demande de logements, les villes se densifient de plus en plus et des quartiers voient le jour, accolés les uns aux autres, sans aucune préoccupation.

Parallèlement, pour répondre à ces besoins, la société humaine a développé de nombreuses technologies toujours plus performantes mais consommatrices en énergie. Les évolutions lui ont permis de se détacher des cycles naturels de la Terre. En effet, le soleil, fournisseur naturel d'énergie et de lumière s'est vu remplacé par l'électricité (entre autres). L'eau a été canalisée et déplacée loin des centres bourgs pour éviter la propagation des maladies. Les forêts ont été arrachées pour avoir plus de place pour l'agriculture qui se voit, elle-même, privée de surfaces fertiles au bénéfice de l'extension urbaine. En outre, tous les systèmes sont automatisés pour favoriser l'augmentation des rendements, quitte à développer des méthodes de culture hors sol pour s'abstraire des conditions climatiques. Ainsi, l'Homme profite de tout ce que la Terre a à lui offrir sans nécessairement se soucier de l'impact que cela engendre sur la biodiversité et la qualité de vie (pollution atmosphérique).

Du fait de ces comportements, l'Homme a fortement impacté les évolutions de la Terre, au point d'influencer négativement le changement climatique. Ce dernier se ressent d'autant plus en milieu urbain (milieu complètement déconnecté de l'environnement) et se traduit par une modification du confort de vie. En effet, les populations qui habitent en ville doivent faire face notamment à une forte augmentation de la chaleur en été, particulièrement marquée en période de canicule, et une augmentation de la pollution de l'air aux particules fines. Actuellement, les villes disposent de très peu de zones de fraîcheur entraînant la création de climats particuliers dans les zones urbaines, pouvant même être qualifiés de microclimat. On parle d'îlots de chaleur urbain (ICU).

Depuis les années 90, une prise de conscience a lieu et les modes d'aménagements changent. De nouvelles techniques d'aménagements sont développées afin de diminuer cet effet de chaleur et d'améliorer le confort de vie malgré la densification. Par exemple, certaines zones en bitume sont remplacées par des zones végétalisées. Cette nouvelle façon d'aménager les villes repose sur le concept du développement durable. Les autorités locales doivent concilier, lors de la création ou de la rénovation de zones urbaines, les attentes sociétales, les besoins économiques et le respect de l'environnement. Pour répondre à ce triptyque, un des concepts émergents est celui « du retour de la nature en ville », l'idée étant de délaissier totalement ou partiellement le bitume (au sens large) au profit de zones végétalisées.

Toutefois, la question se pose de savoir si ces aménagements et ces nouvelles techniques mises en place sont pertinents et efficaces contre les ICU. Peut-on considérer que les nouveaux aménagements urbains contribuent à réduire l'accumulation de chaleur en milieu urbain ? La végétalisation est considérée comme l'un des principaux facteurs de lutte contre l'augmentation des températures, mais toutes les formes de végétations permettent-elles de rafraîchir l'air ? Les nouvelles techniques de construction sont-elles plus vertueuses que les précédentes ? Ces différents questionnements nous amènent à poser la problématique suivante :

Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?

Cette problématique fait immerger des hypothèses. Ce mémoire reposant sur une démarche scientifique, ces hypothèses vont permettre de structurer le travail et *in fine* le propos :

- On considère que toutes les formes de végétalisation contribuent à la réduction des ICU
- On considère que les nouvelles méthodes d'urbanisation sont plus respectueuses de l'environnement
- On considère que l'architecture a un rôle dans la transition écologique des villes
- On admet qu'une gestion de l'eau durable est un facteur important pour limiter notre impact sur l'environnement

Pour répondre à cette problématique et ces hypothèses, une étude bibliographique a été effectuée pour définir et comprendre au mieux l'influence des aménagements urbains sur les ICU, ainsi que leurs impacts sur l'environnement en général. A travers deux cas d'études, l'un en France (Angers, quartier de Belle-Beille) et l'autre au Québec (Montréal) nous allons tenter d'évaluer si les techniques d'aménagements sont réellement en adéquation avec l'environnement.

Dans un premier temps, nous définirons le terme d'ilots de chaleur urbain et leurs liens avec l'aménagement urbain, leur impact que cela a sur l'environnement ou encore sur notre santé. Puis, nous nous intéresserons aux facteurs influençant ce phénomène afin d'identifier les principaux leviers d'actions.

Dans une seconde partie, nous étudierons à travers ces leviers les techniques d'aménagements développées ces dernières années, en s'appuyant sur les projets d'Angers et de Montréal, qui serviront d'exemple.

Enfin, une troisième partie nous servira à analyser la pertinence de ces aménagements. Pour finir nous proposerons des améliorations seront faites pour aller plus loin dans les démarches et faire en sorte d'impacter le moins possible notre environnement tout en améliorant les conditions de vie en milieu urbain

PARTIE 1 : UN PHENOMENE COMMUN AUX ENTITEES URBAINES

1.1 Qu'est-ce qu'un aménagement urbain ?

Pendant des décennies nous avons construit nos villes sur les terres agricoles. Les unités urbaines s'agrandissent en superposant les mouvements architecturaux. Afin de répondre aux nouveaux besoins de la société et adapter les formes urbaines aux nouvelles contraintes, la ville se reconstruit sur elle-même. Par exemple, à Paris, le mouvement Haussmannien permet de recréer une ville plus propre et adaptée aux nouveaux usages (véhicules motorisés). La construction de grands ensembles a également permis de loger un maximum de personnes sur un espace réduit. Les villes anciennes sont perpétuellement en reconstruction et renouvelées, d'autant plus si des barrières physiques les empêchent de s'étendre. Les villes se réinventent pour faire face aux contraintes d'espaces et à l'augmentation de la population. On identifie deux types de renouvellement : spontané et planifié. Le renouvellement spontané comme son nom l'indique est issu d'initiatives individuelles et détaché de tout programme d'ensemble. A l'inverse le renouvellement planifié, tente de contrer les initiatives individuelles, pour créer un schéma d'ensemble cohérent et planifie les évolutions futures. On parle d'organisation spéciale et règlementaire (Badariotti, 2006).

En France, le terme de renouvellement urbain est apparu grâce à la création de la « Loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain » (SRU) de 2000. (Bonneville 2004). Cela permet de cadrer les actions et de guider la prise de décision. Le renouvellement urbain « planifié », est contraint par de nombreux paramètres. Pour commencer, il y a la notion « d'existant et historique ». Le renouvellement n'est pas une démolition de l'ensemble des éléments mais plutôt une rénovation ou une reconstruction partielle en lien avec l'histoire et les besoins futurs. Cela s'applique aux infrastructures, aux bâtiments mais aussi aux espaces dits « paysagers », dont la végétation. Il faut également prendre en compte le contexte social. Des habitants vivent sur ces espaces, y ont des habitudes. Tout changer perturberait la vie locale. Si les nouveaux aménagements s'affranchissent des coutumes de l'espace, ils ne fonctionnent pas car les habitants ne se l'approprient pas. Un long travail d'observation et de concertation doit donc être mené avant tout renouvellement urbain afin que les nouveaux aménagements s'intègrent dans l'identité et les valeurs locales. Enfin, le contexte environnemental et la gestion des ressources sont importants dans le cadre d'un renouvellement urbain. Transformer et renouveler l'existant permet de développer de nouvelles techniques pour que la ville soit toujours plus performante. Pendant des années, nous avons développé nos villes sans nous soucier de l'impact environnemental des aménagements mis en place (systèmes d'évacuation de l'eau, densification de bâtiments, optimisation des transports...). Pourtant, depuis une vingtaine d'années, la prise en compte des questions environnementales dans les projets prend de plus en plus de place. Cela devient un élément incontournable dans tout projet de renouvellement urbain, dans une quête de développement plus « vert » et plus en adéquation avec les cycles naturels.

1.2 Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain ?

1.2.1 Définitions

D'après Perreault Simon, le terme « îlot de Chaleur Urbain » (ICU) aussi appelé « îlot thermique urbain » est déjà utilisé depuis presque deux siècles. C'est en 2007 que le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, publie une définition officielle :

« Zone urbaine où la température ambiante est supérieure à celle des zones rurales environnantes et où l'on observe également des changements dans l'écoulement, des effets de

la « jungle de béton » sur la rétention de la chaleur, des modifications de l'albédo de surface, des changements concernant la pollution et les aérosols, etc. ». (Perreault, 2014)

Ce phénomène crée un microclimat spécifique à chaque milieu urbain qui résulte d'un échange d'air et d'énergie entre les différentes couches plus ou moins chaudes de l'atmosphère (Alonso 2019). Cette différence de température est l'une des premières manifestations de l'influence des milieux urbains sur leur site et leur milieu naturel. L'artificialisation des espaces naturels perturbe le cycle naturel de l'eau et des écosystèmes et participe ainsi à l'augmentation de la chaleur en milieu urbain. Cette variation de température résulte d'une combinaison de facteurs naturels et anthropiques (Valette, et Cordeau 2010). Cette dernière s'explique par une faible présence de la végétation et par une émission de rejets énergétiques variés. Différents microclimats peuvent être observés en fonction de la présence plus ou moins importante de surfaces absorbantes qui stockent de l'énergie solaire sans la réfléchir. Ces différences peuvent se remarquer entre le milieu urbain et le milieu rural, mais également au sein d'une même ville, en fonction de la situation ou du contexte local (figure 1) (Herlem et al., 2011).

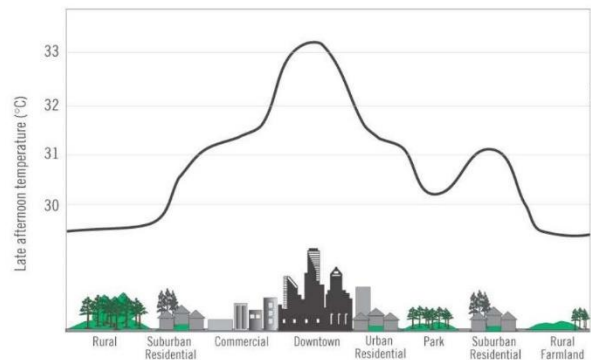


Figure 1: Représentation des ICU en milieu urbain par rapport à sa périphérie (Ressources naturelles Canada 2007)

L'ICU se manifeste à différentes échelles de temps. Premièrement, à une échelle saisonnière. Pendant la saison estivale, cela augmente l'inconfort thermique des citoyens et impacte les processus naturels. Pendant la saison hivernale, au contraire cela est vécu de façon bénéfique puisqu'il rend la ville moins froide que sa périphérie, atténuant ces périodes froides (Colombert, 2010).

Deuxièmement, à une échelle journalière où la chaleur est accumulée en journée et restituée la nuit. Les températures sont donc plus importantes qu'elles ne devraient l'être, la nuit ne permet pas le processus de refroidissement nocturne.

On peut distinguer 4 types d'ICU :

- **Les îlots de chaleur souterrains.** Ils se caractérisent par une hausse des températures du sous-sol en milieu urbain [1]. Les matières minérales présentes en ville stockent la chaleur la journée qui est transférée aux sous-couches souterraines et qui se diffuse dans le sol, faisant augmenter sa température. La nuit, cette matière rejette la chaleur et se refroidit (figure 2). Si les températures sont trop élevées et durent plusieurs jours, le sol n'a pas le temps d'évacuer l'air chaud, ce qui impacte fortement la vie du sol et des végétaux.

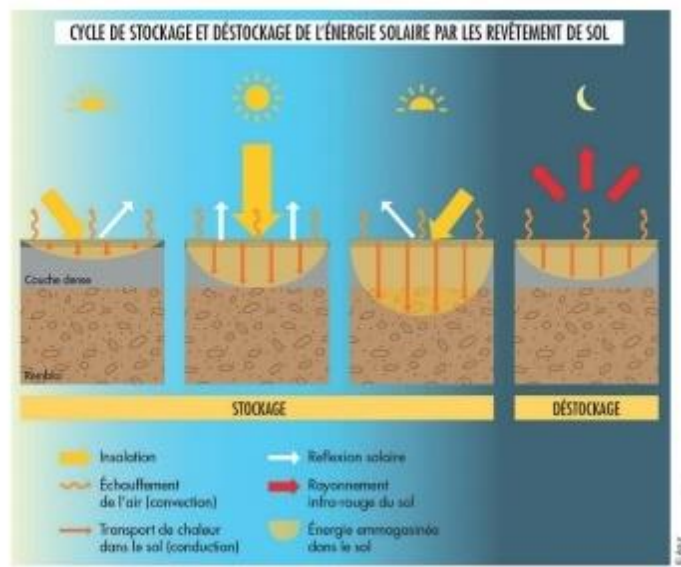


Figure 2: Formation d'îlots de chaleur souterrain (Bigorgne, et Hendel, 2017)

- **Les îlots de chaleur à la surface du sol.** Ils se situent au niveau des couches de surface (minérale ou végétale) qui accumulent l'énergie solaire (figure 2). Chacune des couches possède un albédo différent et absorbe ou reflète les rayons solaires différemment (figure 3). En fonction de leur indice elles vont plus ou moins participer à la formation de microclimats.



Figure 3: Photographie thermique (rue Parisienne) à la surface du sol (Bigorgne, et Hendel, 2017)

- **Les îlots de chaleur de la canopée urbaine (basse couche), ou couche limite de surface (CLS).** Ils se forment entre la surface du sol et le toit des bâtiments. C'est dans cette couche que l'essentiel de l'activité humaine se déroule. Les vents qui transitent, en fonction des courants, se retrouvent bloqués par les hauts immeubles empêchant les mouvements d'air (figure 4) et donc le refroidissement de l'atmosphère (Rullier, 2012). Ce phénomène est par ailleurs influencé par la position géographique de la ville (bord de mer par exemple) (Leconte, 2014).

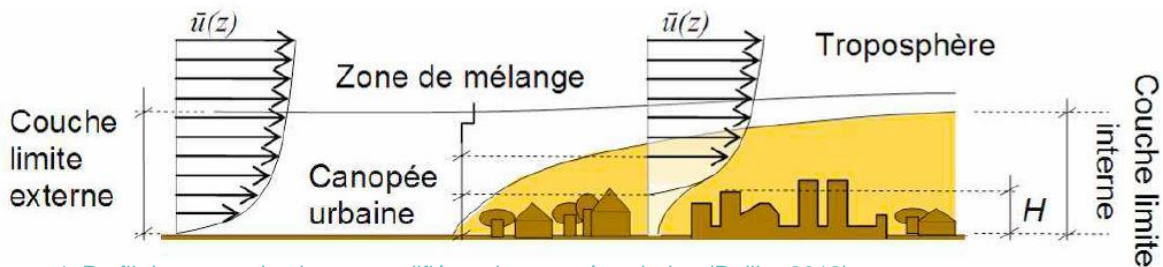


Figure 4: Profil des vents dominants modifié par la canopée urbaine (Rullier 2012)

-**Les îlots de chaleur de la couche limite urbaine (CLU).** Il s'agit de l'ultime couche au-dessus de la canopée, liée à la couche de la canopée urbaine [1]. Ensemble, elles forment la couche limite atmosphérique (CLA). Les vents étant bloqués à la CLS, ils se détournent du tissu urbain et montent en altitude (figure 5). Sans ces vents, la couche atmosphérique accumule l'air chaud formé par la ville, poussant l'air froid aux extrémités de la ville et créant un dôme de chaleur (figure 6). L'air reste bloqué dans ce dôme, ne se renouvelle pas et concentre donc toute la pollution et la chaleur générée par la ville (Rullier, 2012). Ainsi, les différents échanges entre les couches sont influencés et perturbés par la composition urbaine. L'ensemble de ces îlots de chaleur forme un microclimat spécifique à la ville et amplifie le processus plus général du réchauffement climatique.

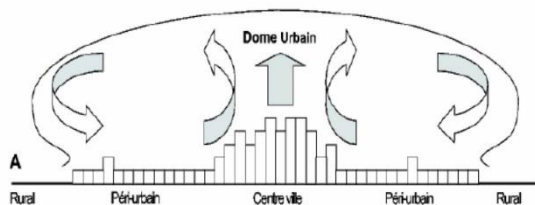


Figure 6: Schéma de la formation d'un dôme induit par le milieu urbain (Rullier, 2012)

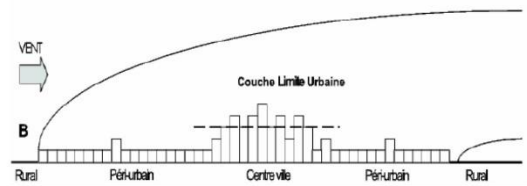


Figure 5: Schéma de la circulation du vent au-dessus du tissu urbain (Rullier, 2012)

1.2.2 L'origine de la formation des ICU

Selon Foissard.X, les ICU se forment du fait de l'interaction de plusieurs domaines et relèvent la nécessité d'adopter une approche pluridisciplinaire pour les étudier et les comprendre dans leur ensemble (Foissard, 2014). Les ICU ont pour origine plusieurs facteurs (figure 7) :

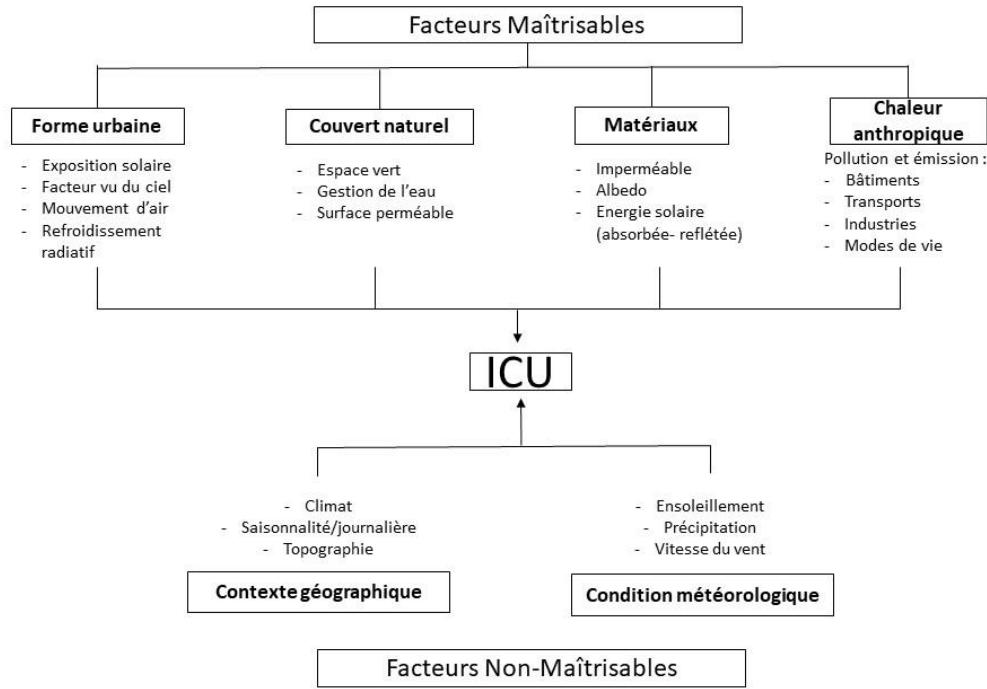


Figure 7: Facteurs participant à la constitution d'ICU (Recurt 2020, traduit de Dubois, 2014 et Perrault 2014)

Les facteurs non maîtrisables agissent sur les transferts d'énergies et maintiennent un équilibre atmosphérique. Le soleil émet notamment un rayonnement solaire autour duquel des mécanismes naturels se sont mis en place pour que l'environnement soit viable (Route, 2019).

Le premier mécanisme mis en place est le rayonnement c'est à dire l'émission d'énergie solaire qui est soit absorbé soit réfléchi par la surface de la Terre, formant un bilan radiatif. En milieu urbain ce bilan est perturbé, l'énergie absorbée ou renvoyée est décuplée, ce qui augmente le réchauffement de l'atmosphère.

Le second mécanisme est celui de la conduction d'énergie soit le transfert d'énergie de proche en proche entre une surface froide et une autre plus chaude pour atteindre un équilibre de température (le principe de convection avec des fluides). L'air a une densité différente en fonction de ses composants et de sa température. Un air chaud va monter en altitude tandis qu'un air plus froid va avoir tendance à descendre. Ainsi, un cycle se forme et un équilibre de température est trouvé. Ces mouvements sont également influencés par le vent qui distribue la chaleur. Toutefois en milieu urbain, les mouvements de vent sont perturbés par l'architecture et l'air, chargé en molécules polluantes, est alourdi. Ainsi, l'air chaud pollué va rester à la surface du sol et ne va pas monter pour se refroidir (figure 8).

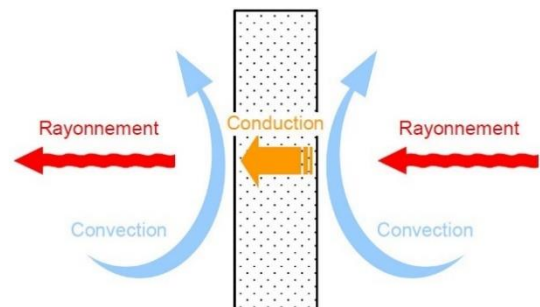


Figure 8: Mécanisme de transfert d'énergie par convection et conduction (Valette et Cordeau, 2010)

Le dernier mécanisme est celui de la chaleur latente, qui correspond à l'énergie échangée avec le milieu extérieur lors du changement d'état d'un corps. Ici, cela fait référence notamment au changement d'état de l'eau liquide en vapeur d'eau qui puise l'énergie nécessaire dans l'air (perte d'énergie thermique) et qui se refroidit par la même occasion. L'évapotranspiration est l'un des premiers processus à utiliser ce mécanisme (Route, 2019 ; Valette, et Cordeau, 2010).

Ces mécanismes naturels sont donc modifiés et impactés par des facteurs maîtrisables appartenant au milieu urbain. Effectivement, la forme urbaine impacte significativement le rayonnement contribuant au ralentissement des vents, ce qui influence les processus de convection et de conduction. En fonction de la hauteur et de l'orientation des bâtiments, l'air ne circule plus entre eux et laisse l'air chaud s'accumuler à la surface du sol. L'agencement des bâtiments a donc un fort impact sur la formation des ICU. Cela est amplifié par la nature des matériaux qui composent la ville. Une majorité d'entre eux est imperméables et a une forte capacité à accumuler la chaleur. A cela s'ajoute les GES émis par les activités humaines, qui chargent l'air en particules polluantes ne lui permettant pas de se refroidir.

De plus, les surfaces végétalisées ou perméables sont moins nombreuses que les surfaces minérales. Le mécanisme de chaleur latente, utilisé par les végétaux lors de l'évapotranspiration ne se réalise pas suffisamment pour alléger l'air et le refroidir. Si la végétation est obligée de créer un équilibre avec l'extérieur grâce à l'évapotranspiration, cela traduit qu'il y a un manque d'eau dans l'atmosphère. En campagne, l'eau est présente dans les cours d'eau ou directement dans la terre. A l'inverse, le schéma de la ville ne permet pas l'infiltration de l'eau sur place. Elle est gérée par les surfaces imperméables et canalisée par un réseau d'assainissement, pour être évacuée en dehors de la ville.

1.3 Quels facteurs influencent les ICU ?

1.3.1 Structure urbaine (morphologie, densification)

Un échange permanent s'effectue entre l'énergie solaire et la Terre : une partie est réfléchiée et une autre est absorbée par les matériaux présents à sa surface. La création de nombreuses villes toujours plus grandes amplifie ce phénomène, jusqu'à en devenir néfaste pour l'environnement et la santé.

La densification des villes a un fort impact sur la formation des ICU car les rues sont de plus en plus étroites, concentrant le rayonnement solaire et complexifiant les mouvements d'air. Lorsque les rayons du soleil rencontrent un matériau, ils sont absorbés et chauffent l'environnement. Ils peuvent également être réfléchis plusieurs fois, comme le montre la figure 9 ci-contre. Ainsi, l'air se réchauffe, se dilate et monte au-dessus de la canopée urbaine pour former un dôme d'air chaud. Le refroidissement s'effectue principalement la nuit, il est moins efficace en ville du fait de la densité bâtie. De plus, le rayonnement solaire n'atteint pas toujours le sol, c'est le cas pour les rues étroites, où les rayons se heurtent aux bâtiments sans atteindre la surface du sol. C'est un avantage la journée, car l'air se réchauffe moins mais c'est également un inconvénient la nuit, car l'air ne s'échappe pas de la rue et se refroidit différemment.



Figure 9: L'influence du bâti sur le mouvement d'air (Bigorgne, 2012)

Une étude réalisée sur Paris (programme APUR) (Bigorgne, 2020) a comparé différentes formes urbaines représentatives de la ville. Une première forme urbaine dense est présentée avec des rues étroites et de nombreuses arrière-cours. La densité du bâti ne permet pas un bon refroidissement de l'air mais la présence d'arrière-cours permet de faire circuler l'air à travers le bâtiment (agissant naturellement contre la surchauffe de l'air), et ainsi, d'améliorer le confort thermique. Cependant, de nos jours ces arrière-cours sont complètement bouchées par des systèmes de ventilation ou des climatiseurs qui ont pour but de refroidir l'intérieur des bâtiments et rejettent de la chaleur en extérieur (figure 10).

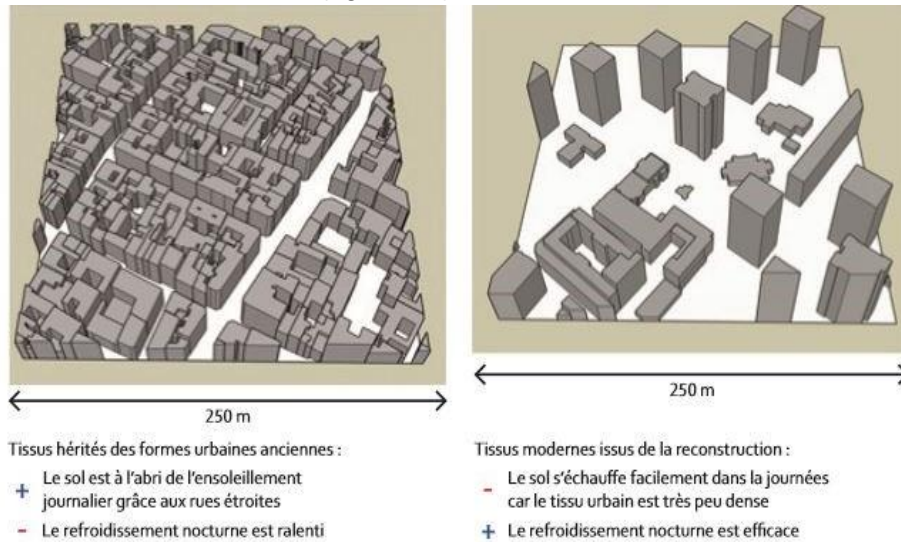


Figure 10: Les typologies urbaines de Paris (Bigorgne, 2020)

Courette d'immeuble ouverte – rue Max Dormoy, Paris 18e

Courette d'immeuble bouchée par les climatiseurs Ilot situé entre les rues Nicolas Flamel et Saint-Martin, Paris 4e

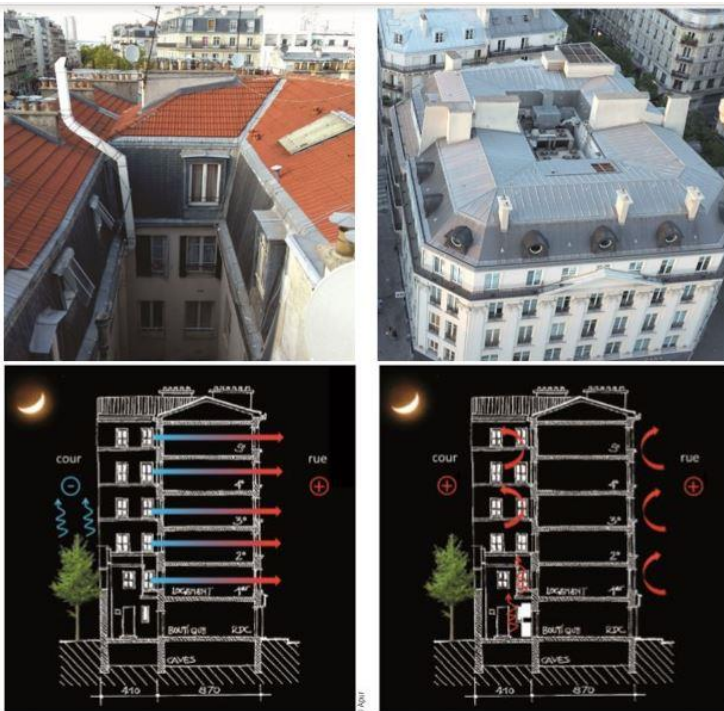


Figure 11: Le fonctionnement des arrière-cours et l'importance de leur ventilation (Bigorgne, 2020)

Une deuxième forme d'urbanisation, plus moderne et plus ouverte, se démarque : les rues sont beaucoup plus larges et il y a la place de planter plusieurs alignements d'arbres en plus des voiries. Ces espaces se réchauffent plus en journée car ils sont beaucoup plus exposés au rayonnement solaire. Toutefois, ils se refroidissent davantage et plus rapidement la nuit (Figure 11). Un équilibre est donc à trouver entre la densité du bâti et l'utilisation de l'espace vide. Est-il préférable que la chaleur augmente et diminue ensuite très peu la nuit ou qu'il y ait des pics de chaleur plus importants mais avec un rafraîchissement par la suite ? Ces résultats démontrés par l'étude sont mesurés sur une journée type. Or les îlots de chaleur sont la conséquence d'épisodes caniculaires durant plusieurs jours voire plusieurs mois. L'accumulation de chaleur sur plusieurs jours est donc à prendre en compte.

1.3.2 Facteur «vu du ciel »

L'influence des formes urbaines sur les îlots de chaleur est étroitement liée au facteur de «vu du ciel ». Il s'agit de la proportion de ciel visible depuis le sol en fonction de la hauteur des bâtiments, il correspond au rapport H/L (hauteur du front bâti par la largeur de la voie). Ce paramètre nous montre l'importance de l'équilibre entre hauteur et largeur des constructions.

Une rue avec un rapport «vu du ciel » faible est une rue avec des bâtiments de faible hauteur et une largeur de rue importante. Une rue avec un rapport H/L faible est une rue qui se chauffera plus vite et plus longtemps qu'une rue qui a un rapport vu du ciel fort (figure 12) (Bigorgne, Mangold 2014).

Avenue de l'Opéra, Paris (H/L= 0,5)



Rue Saintonge, Paris (H/L= 3)

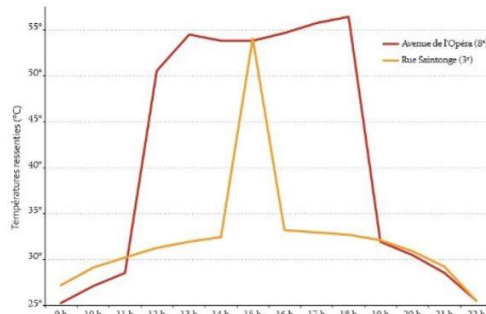
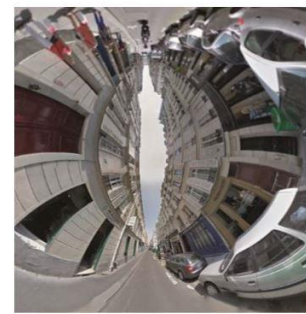


Figure 12: Comparaison du rapport de « vu du ciel » sur deux rues différentes (Bigorgne, et Mangold, 2014)

Ce paramètre prend toute son importance quand on l'associe à l'orientation des rues. Effectivement, avec la rotation de la Terre, le soleil n'est pas présent de manière homogène à tout moment. Des rues exposées Est-Ouest vont avoir des températures plus élevées le matin et le soir, comparées à des rues exposées Nord-Sud qui vont avoir des températures élevées l'après-midi (figure 13) (Bigorgne, Mangold 2014).

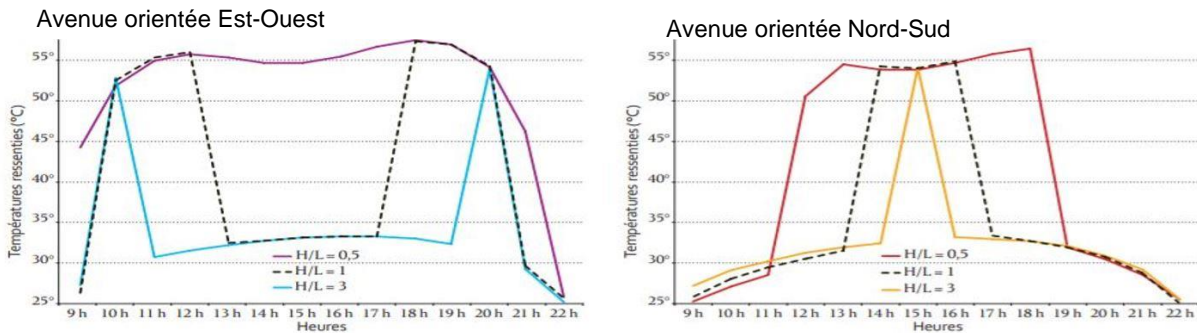


Figure 13: L'importance de l'orientation des rues en fonction du rapport de « vu du ciel » (Bigorgne, et Mangold, 2014)

La connaissance de ces deux paramètres nous permet d'identifier la localisation géographique et temporelle de l'inconfort thermique et ainsi d'adapter les aménagements qui pourront réduire ce phénomène. Premièrement, la largeur des trottoirs devra être adaptée pour que les trottoirs soient plus larges du côté ombragé. Deuxièmement, le choix des essences d'arbre joue un rôle crucial. Prenons l'exemple d'une rue orientée Nord-Sud : l'inconfort thermique le plus important est au Nord. Il est donc intéressant d'implanter des arbres avec un feuillage dense afin de protéger ce côté du soleil (Bigorgne, Mangold 2014). Un arbre trop grand avec une densité de feuillage importante planté dans une rue étroite peut assombrir toute la rue et priver de la luminosité naturelle des logements dans les bâtiments donnant sur la rue de la lumière naturelle. Dans ce cas, la végétation n'apportera donc plus aucun bénéfice, car une lumière artificielle sera utilisée.

1.3.3 Le comportement des matériaux

La majorité des matériaux utilisés en ville (sol, bâtiments et toits) sont de nature minérale et imperméable. D'après le programme APUR, (Bigorgne, Mangold 2014), on peut regrouper les matériaux en deux catégories :

- Matériaux minéraux (granit, grès) et les dérivés du pétrole (asphalte, bitume)
- Matériaux sablonneux ou pulvérulents (stabilisé, béton désactivé, terre battue)

En ville, les matériaux, en fonction de leurs propriétés, quand ils sont soumis au rayonnement solaire, ont deux comportements distincts : l'inertie thermique et l'albédo.

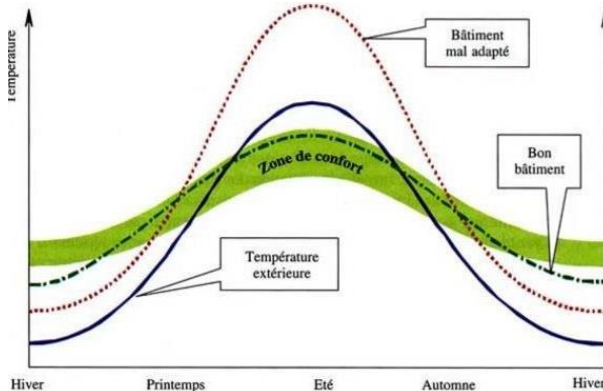


Figure 14: L'inertie thermique en milieu urbain (Valette, et Cordeau, 2010)

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à accumuler la chaleur et à la relarguer par la suite (figure 14). Cette capacité est, pour chaque matériau, influencée par sa capacité de conductivité, sa capacité thermique massive (capacité à se réchauffer) et sa densité. En fonction des matériaux, il y en a certains qui ont une plus grande capacité à stocker de l'énergie que d'autre. Par ailleurs, cette capacité est directement liée à la

composition du matériau considéré. La porosité est également à prendre en compte car elle permet de créer des vides et ainsi de ne pas stocker d'énergie. Un béton va donc avoir une inertie thermique plus grande que la terre, il va donc stocker et accumuler plus d'énergie que cette dernière (Valette, et Cordeau, 2010).

L'albédo est le rapport entre l'énergie solaire reçue et celle réfléchi (indice). Plus les matériaux réfléchissent l'énergie solaire plus ils ont un indice proche de 1 et, plus ils absorbent l'énergie plus leur indice est proche de 0 (Figure 15). Les matériaux noirs (minéraux et dérivés du pétrole), ont une grande capacité de stockage et réfléchissent peu. Ils participent donc pour une grande partie aux îlots de chaleur. Le réfléchissement à 100% n'est pas non plus idéal car il peut provoquer des éblouissements.

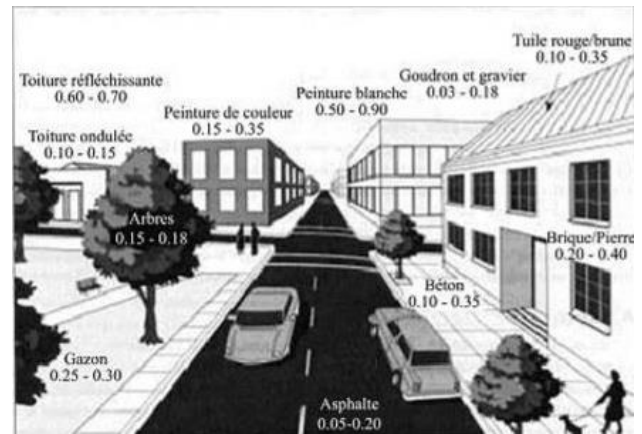


Figure 15: Les principaux albédos des matériaux utilisés en milieu urbain (Colombert, 2008)

D'après le tableau 1 on remarque que les matériaux les plus utilisés pour les revêtements de surface en ville, sont ceux qui ont une forte inertie thermique et un faible albédo (Bigorgne, 2020).

	JOUR	NUIT
asphalte noir (trottoir)	très chaud	chaud
béton bitumineux	très chaud	chaud
dalles de granit	modérément chaud	chaud
stabilisé	modérément chaud	frais
gazon	frais	frais

Tableau 1: Les réactions des différents matériaux (Bigorgne, et Mangold 2014)

Si autant de surfaces sont imperméabilisées c'est que nous utilisons des véhicules de plus en plus lourds et, en plus grand nombre. Les structures sont donc de plus en plus conséquentes pour soutenir ce trafic. L'ensemble des espaces publics doit être accessible au plus grand nombre et à tout moment de la journée ou de l'année.

1.3.4 L'activité humaine

Pour subvenir à ses besoins, l'Homme utilise des énergies pour se déplacer, pour construire, pour transformer des produits, etc. En plus de puiser dans les ressources naturelles, cette utilisation d'énergie crée de la chaleur et ainsi participe au développement des îlots de chaleur.

D'après l'étude menée par le programme APUR en 2012 (Bigorgne 2012), l'ensemble des activités humaines responsable de 20% de l'augmentation des températures. Tout au long de l'année, nous utilisons des appareils pour faciliter notre quotidien, tel que l'électroménager, les téléviseurs, les ordinateurs, etc. Tous dotés de moteur, ils génèrent de la chaleur et participent au réchauffement de l'intérieur des habitations. Cette chaleur peut être insignifiante pour un seul appareil, mais multipliée par une dizaine de logements et par le nombre de logements présents en ville, mis bout à bout cela peut avoir un fort impact sur la chaleur urbaine.

Nous participons également à l'émission de GES lors de nos déplacements. Les déplacements individuels en voiture constituent une pollution du milieu urbain. Cela crée des mélanges de gaz toxiques appelés smog. Ils forment un nuage de brume sèche, qui se compose de deux polluants principaux : l'ozone troposphérique (O3) et les particules fines (Anquez et Herlem, 2011). Ces brumes sont l'un des premiers facteurs qui participent à la création du dôme de chaleur urbain.

1.3.5 Confort d'été à l'intérieur

L'augmentation de la chaleur est causée par les changements climatiques et aggravée par les activités humaines. La croissance exponentielle des villes ne prend pas en compte de l'exposition des bâtiments par rapport au soleil, ou encore à l'utilisation de l'énergie naturelle à l'intérieur des habitations, ayant pour conséquence l'accumulation de chaleur à l'intérieur des logements. Afin de les refroidir, le recours aux climatiseurs est fréquent, jouant un rôle majeur dans la formation des ICU (figure 16).

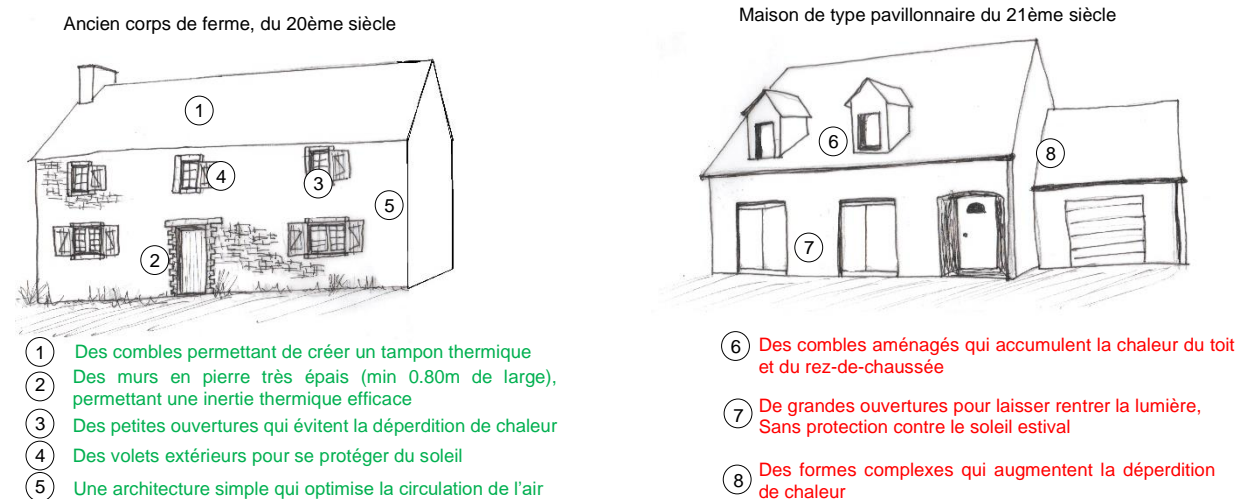


Figure 16: Comparatif de mode de construction à différentes époques entre le 20ème siècle et 21ème siècle (Recurt, 2020)

De plus, afin de gagner de la place et de loger les habitants, les toits en pente sont abandonnés au profit des toits plats. Les combles qui permettaient de créer une zone d'air tampon entre la chaleur de la toiture et les habitations, ont été réquisitionnés pour faire des logements. Cela contribue à l'inconfort thermique à l'intérieur des logements. De plus, cette transmission de chaleur dépend de la composition des matériaux du toit.

Sur les toits plats seul le gravier ou une couverture végétale permet de réduire la transmission de chaleur, car les nombreuses cavités des gravier et l'albédo élevé de la végétation permet à l'énergie solaire de ne pas être absorbée.

1.3.6 La végétation

Il est régulièrement démontré que la végétation aide au rafraîchissement des espaces. (Bigorgne 2012) Effectivement, elle est un facteur qui influence la température de l'air grâce au mécanisme d'évapotranspiration. Le feuillage des arbres en fonction de leur hauteur et de leur densité apporte de l'ombre. Cela empêche les rayons du soleil d'atteindre les surfaces minéralisées et de chauffer l'espace. D'autre part, les plantes, en général, ne stockant pas de chaleur n'apportent pas de chaleur supplémentaire la nuit (Figure 17).

Toutefois, il faut faire attention à comment la végétation est implantée, dans quel environnement et comment elle est entretenue. Effectivement, une plante en stress hydrique n'apporte plus aucun bénéfice au rafraîchissement de l'air. De plus, le rayon d'action de la végétation reste ponctuel, il ne se diffuse pas à plus de 10 m autour de la masse végétale. La question se pose donc s'il est vraiment nécessaire de créer de grosses aires végétales autour de la ville, comme cela a pu se faire autour de Paris (Bois de Boulogne, de Vincennes ...), ou s'il est préférable de créer plusieurs petites unités au cœur même des villes.

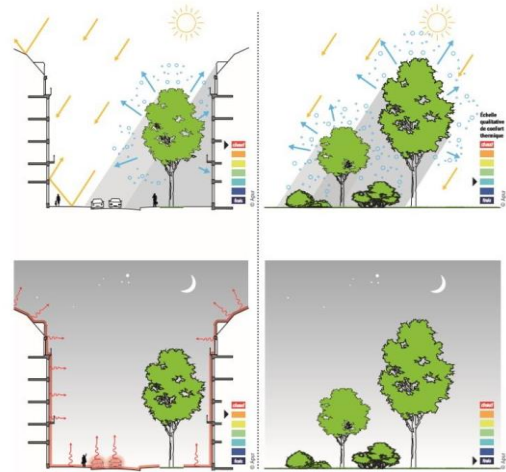


Figure 17: Effet de la végétation en milieu urbain (Bigorgne, 2012)

1.3.7 La brise thermique

La brise thermique, est un mouvement d'air horizontal (à la différence de la température), influencé par la morphologie urbaine et la topographie. A travers différentes études Bigorgne et, Bridier ont montré que ces mouvements d'air sont en lien avec le réseau hydrographique de la ville et apparaissent lors d'épisodes caniculaires avec des vents très faibles. Effectivement, avec l'écoulement de l'eau et sa réflexivité élevée, la chaleur ne s'accumule pas, agissant contre l'augmentation des températures. Ce sont des îlots de fraîcheur. Cependant, cet air frais reste local, il ne se diffuse pas dans les quartiers environnants. La présence de l'eau libre en milieu urbain est donc un bon moyen de lutter contre les îlots de chaleur. D'autant plus que les mouvements d'air affluent vers ces cours d'eau et, transportent l'air chaud et pollué le long des bassins-versants pour aller le diffuser jusqu'en-dehors de la ville. Ainsi, les brises thermiques alliées aux réseaux hydrographiques permettent de dépolluer l'air et de le rafraîchir localement.

Il est nécessaire de comprendre comment ce phénomène fonctionne et se met en place pour s'en servir efficacement en refroidissant l'air naturellement. Toutefois, il est nécessaire de prendre des précautions pour ne pas créer des couloirs de courant d'air et rendre l'espaces désagréable. Pour cela, la végétation peut être utilisée pour ralentir les courants d'air qui pourront se créer. Un équilibre est à trouver.

1.4 Quelles conséquences ?

1.4.1 Création d'un inconfort thermique

L'inconfort thermique résulte de l'augmentation de chaleur induite par les ICU. Il correspond à l'adaptation du corps humain aux changements thermiques afin de maintenir sa température (gain ou perte de chaleur).

Tant que celui-ci est maintenu nous sommes en confort, si la température de l'air est trop élevée ou trop basse, nous entrons donc dans un inconfort thermique. Afin de maintenir cet équilibre, le corps a mis en place un ensemble de processus pour réguler sa température : la thermogénèse (production de chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur) (Valette,, Cordeau 2010).

Le confort thermique est donc personnel, chacun s'adapte différemment aux fluctuations de températures (Giguère, et al., 2010). L'inconfort thermique est directement lié aux ICU. C'est un indicateur induit par les changements de température mais aussi par l'humidité de l'air et la nature des matériaux au contact de la peau. L'ensemble de ces paramètres à prendre en compte, il représente « le ressenti thermique ». En fonction du ressenti thermique de chacun, il est possible d'évaluer l'impact des ICU sur le corps humain et la manière dont il est vécu au quotidien.

1.4.2 Impact sur la santé humaine

L'augmentation de la chaleur impacte fortement la santé humaine pouvant créer des stress hydriques. La chaleur accablante peut avoir différentes conséquences sur le corps humain comme des faiblesses respiratoires, des troubles de la conscience mais aussi différentes maladies qui peuvent provoquer la mort (Giguère, et al., 2010). Les journées répétées de forte chaleur associées à l'absence de rafraîchissement nocturne, sont des facteurs importants de surmortalité notamment chez les populations les plus vulnérables. Parmi ces populations, se trouvent également les personnes dont les conditions de vie ou de travail les exposent particulièrement à la chaleur comme les ouvriers du bâtiment, qui ont souvent des tâches physiques en extérieur.

De plus, la hausse des températures augmente la pollution atmosphérique favorisant l'effet de serre et, amplifie ses effets néfastes sur la santé. Effectivement, les fortes chaleurs ne permettent pas aux polluants de s'échapper de la couche de la canopée, et créent ainsi des smogs. La formation de cette brume est causée par une surconsommation des énergies. La création de smog participe également à la dégradation de l'air intérieur. Par ailleurs, l'augmentation des températures favorise aussi le développement des acariens, des moisissures et des bactéries. Ils sont considérés comme allergènes et peuvent donc porter atteinte à la santé publique (Anquez, Herlem 2011).

1.4.3 L'impact sur l'utilisation des énergies

Depuis quelques années, la consommation d'énergie est en hausse, en particulier l'été. Le réchauffement des aires urbaines amène à une utilisation plus importante des climatiseurs qui ont de gros effets néfastes. En plus de contribuer à l'augmentation des températures, ils consomment de l'énergie fossile et sont souvent positionnés dans les cours intérieures empêchant l'air de circuler. Comme évoqué précédemment, l'utilisation de cette énergie contribue à la création de smog et participe à la pollution de notre environnement, avec une dégradation de la qualité de l'air, la création de gênes sonores et l'épuisement des ressources naturelles par l'extraction des minerais.

1.4.4 L'impact sur l'environnement

Les ICU présentent d'importants impacts sur l'environnement, ce qui a de fortes conséquences. Premièrement, les ICU, et plus généralement, le milieu urbain impacte fortement la végétation. Les différents modèles urbains mis en place ont privilégié la construction de surfaces minérales imperméables au détriment de zones végétalisées et de leurs bienfaits. Un de ces bienfaits est celui du rafraîchissement de l'air via l'évapotranspiration. En cas de fortes chaleurs, l'hygrométrie de l'air est trop élevée pour que cette dernière se produise, d'autant plus si les plantes sont en stress hydrique. Aussi, au-delà d'un certain seuil de températures, certaines plantes rentrent en dormance, ne pouvant donc plus réaliser ce mécanisme.

Par ailleurs, dans le contexte urbain actuel, les végétaux ne peuvent pas exercer efficacement leurs rôles de climatiseur urbain car ils ne sont pas assez nombreux et trop de contraintes leur sont appliquées.

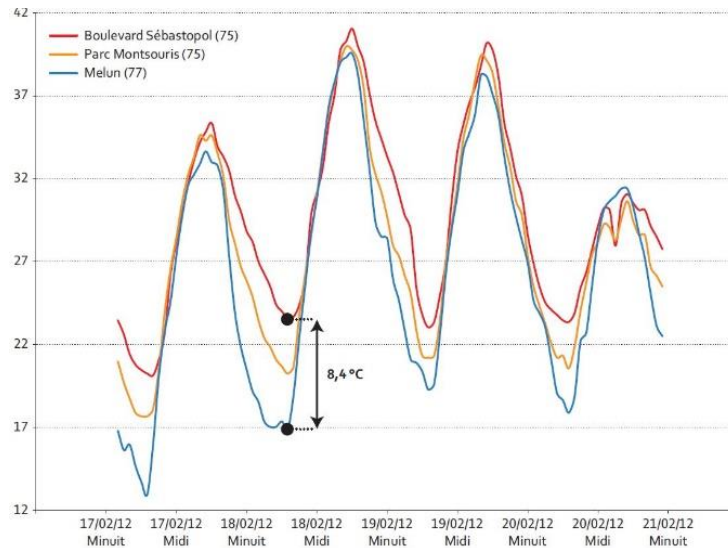
Deuxièmement, le cycle de l'eau est aussi impacté dans les zones urbaines. L'évapotranspiration étant plus compliquée et limitée, les plantes ne jouent plus leur rôle dans le cycle de l'eau. En outre, les sols imperméables ne permettent plus aux eaux pluviales de ruisseler, empêchant les sols de jouer leur rôle de rétention d'eau, source hydrique majeure des végétaux. Pour des fins de consommation ou industrielles, l'eau est puisée dans les cours d'eau ou dans les nappes phréatiques. Après avoir été utilisées, les eaux souillées sont collectées dans des égouts où elles rejoignent les eaux de pluie, pour ensuite être analysées et traitées puis rejetées dans la nature. Le cycle naturel de l'eau est donc complètement détourné et perturbé, sans compter le fait que les eaux peuvent aussi être polluées.

Enfin, les formes urbaines impactent également les mouvements d'air. Les déplacements d'air sont influencés par la différence de température des masses atmosphériques et de leur pression. L'air chaud s'élève et l'air froid descend par convection. En plus, de ces mouvements, verticaux, il y a les mouvements, horizontaux liés à la brise thermique. Ces brises peuvent refroidir l'air la nuit et permettent de moins ressentir la chaleur. Toutefois, certaines formes urbaines créent des grands couloirs vides où le vent s'y engouffre et peut rester constant dans la rue, ne permettant pas la diffusion de la fraîcheur. Un équilibre est donc à trouver entre les flux d'air et les formes urbaines. (Valette, Cordeau 2010).

L'ensemble de ces conséquences environnementales dû aux îlots de chaleur s'applique aussi en périphérie des aires urbaines. Cela affecte négativement le métabolisme et la reproduction de nombreuses espèces et porte atteinte à l'équilibre des écosystèmes urbains et périphériques (Anquez, Herlem 2011).

1.5 Les outils de mesures et de traitement des données

Les hommes sont capables de ressentir les différences thermiques. Il est nécessaire de capter, analyser et interpréter le ressenti pour établir un diagnostic et ainsi appuyer une argumentation sur des valeurs réelles. Cela permet d'identifier concrètement les facteurs qui participent aux ICU, et différents moyens de mesure en fonction des données recherchées (Phillips, 2017). Des stations fixes peuvent être utilisées, comme par exemple des stations météorologiques. Sur un ou deux points d'une ville, les températures de l'air, l'hydrométrie, adapter les mesures d'aménagement pour répondre au mieux aux enjeux. Cela nous permet d'avoir une multitude de données sur une longue période et ainsi d'étudier les tendances d'évolution et de comparer annuellement. Il est ensuite possible d'étudier les tendances d'évolution et de les comparer selon les années (figure 18).



Seulement, ces relevés sont très dépendants de l'environnement d'implantation de la station. Si l'implantation n'est pas idéalement choisie, les données seront faussées et non utilisables pour une extrapolation.

Il est possible de réaliser des mesures à plusieurs endroits en même temps avec par exemple la télédétection ou avec une caméra thermique (réalisable en aérien ou depuis le sol). Cela permet de relever la température de l'air, ou plus particulièrement celle des corps de surfaces (enrobé, béton, mur, ...), l'hydrométrie ou/et la vitesse du vent (Phillips, 2017). Ce système de relevé permet de réaliser plusieurs relevés en même temps et d'analyser plusieurs quartiers d'une ville simultanément. Toutefois, les campagnes de mesures sont, sur de courtes durées. Il est donc déterminant de faire le bon choix dans la période d'étude. De plus, ces mesures sont dépendantes de l'échelle d'étude. Si l'échelle de mesures est trop importante, il est impossible d'identifier les paramètres de petite taille.

Une fois les mesures effectuées, des modélisations sont réalisées pour comprendre où sont les ICU, sur quelle période ils se forment et pour identifier quels paramètres les influencent sur la zone étudiée. Les mesures sont interpolées ou extrapolées afin d'obtenir un ensemble de cartographies représentatives. Cela peut se traduire par un modèle global simplifié, qui utilise des abaques et des statistiques (développées à travers différentes études par Oké) pour identifier les moments critiques de la formation des ICU. Il est également possible d'utiliser une classification géoclimatique. C'est un ensemble de cartes établi en fonction des différents paramètres étudiés (Phillips, 2017). Une fois le diagnostic obtenu des simulations sont réalisées pour étudier le scénario le plus performant pour lutter contre les ICU. Les avancées technologiques nous permettent d'avoir des modélisations 3D avec une étude à court et long terme (Colombert, 2010). Ainsi, des comparaisons sont possibles entre l'existant et le projet. Cela permet d'ajuster les orientations et les techniques d'aménagement pour se rapprocher du modèle parfait. Depuis l'utilisation de la modélisation, peu de retours ont été réalisés pour vérifier si la modélisation est juste. N'étant pas vérifiée la méthode ne peut être confirmée fiable. C'est pourquoi, nous développons toujours des projets expérimentaux pour tester l'efficacité des aménagements.

1.6 Les enjeux

Les ICU sont donc créés par un ensemble de paramètres qui modifient les cycles naturels. Pour cette raison depuis quelques années, ces manières de concevoir sont modifiées afin d'améliorer le cadre de vie de tous. Les études menées par les chercheurs et les expérimentations ont montré qu'il n'est pas possible de se passer de ces cycles. Ils ne doivent pas être modifiés voire recréés pour lutter contre ce réchauffement climatique. Au vu des problèmes provoqués par les îlots de chaleur un plan d'action est à établir selon ces enjeux :

- Réduire les surfaces imperméabilisées
- Favoriser et choisir une végétation adaptée au milieu urbain
- Favoriser l'écoulement de l'eau aérienne
- Construire les bâtiments en fonction des paramètres climatiques (été/hiver, soleil/pluie, vent, ...)
- Réduire l'impact environnemental des constructions en privilégiant des méthodes de réutilisation, recyclage et/ou en économie circulaire.
- Sensibiliser et inciter à consommer, se déplacer différemment, afin de réduire l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.

PARTIE 2 : UN NOUVEAU SYSTEME DE CONCEPTION

La réduction des ICU est une problématique commune pour beaucoup de villes dans le monde, qui se traduit par des renouvellements urbains. Afin d'illustrer les principaux aménagements réalisés, les exemples du quartier Belle-Beille à Angers et de la ville de Montréal au Québec ont été choisis, pour comparer deux pays à des échelles différentes. Le projet de Belle-Beille a été choisi car il fait partie d'un projet de renouvellement particulier, qui s'intègre dans le cadre de la lutte contre les ICU, et qui propose beaucoup d'innovations et d'expérimentations. Puis, le choix c'est aussi porté sur la ville de Montréal car depuis les années 90 elle a commencé la lutte contre les ICU. Les données présentées ici sont soit issues de sources professionnelles permettant d'avoir des données précises (Belle-Beille), soit issues de la bibliographie donnant seulement un accès limité aux données (Montréal).

Ces exemples ont été choisis pour leurs représentativités ou leurs innovations dans les pratiques du renouvellement urbain dans la lutte des ICU. Ainsi, seulement quatre thèmes seront abordés apparaissant comme les principaux leviers d'action (que l'on retrouve dans l'ensemble des projets) : infrastructure, stratégie de construction, stratégie végétale et gestion de l'eau.

2.1 La rénovation du Grand Belle-Beille, un cas concret de renouvellement urbain

2.1.1 Le projet, son contexte et ses objectifs

Le quartier de Belle-Beille, situé à Angers (49), s'est formé après la Seconde Guerre mondiale avec la construction de grands ensembles permettant d'accueillir un grand nombre de personnes dont les plus défavorisés. Avec le temps, le quartier s'est développé autour de ces nouveaux logements créant de nouveaux pôles d'attractivités (campus universitaire, zone d'activité et Technopôle), mais sans liaison avec le reste de la ville. Le passé agricole du quartier reste malgré tout présent. Il y a de nombreux espaces verts et des parcs situés plutôt à l'extérieur. Néanmoins, les bâtiments et infrastructures sont vieillissants et beaucoup de dysfonctionnements au sein du quartier ont été identifiés. Le quartier a donc besoin d'être rénové.

Par ailleurs, des analyses, révèlent la présence d'îlots de chaleur (figure 19) au sein du quartier. C'est pourquoi depuis 2014, un programme de rénovation urbaine est engagé, il s'inscrit dans le cadre du Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain (NPNRU), mis en œuvre avec l'aide de l'Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ANRU), qui encourage les initiatives pour la mise en place de démarches énergétiques. La stratégie s'appuie donc sur trois piliers (permettant de rendre les bâtiments éligibles aux normes RT 2012) : la sobriété des bâtiments et leurs performances énergétiques, la production locale d'énergie renouvelable et la réduction de la production d'énergies grises issues de l'extraction, de la construction et de la démolition.

De plus, le projet s'articule autour de plusieurs démarches pour obtenir la labélisation d'écoquartier (Annexe I).

Au vu des enjeux climatiques, une attention particulière sera portée sur l'impact sur l'environnement causé par le renouvellement (Annexe II).

La méthode adoptée pour la gestion du renouvellement urbain est celle de la création d'une résille. Cela correspond à une superposition de grilles avec des thèmes différents (infrastructure, végétation, etc.), qui permettent d'assembler l'ensemble des contraintes et des objectifs sur un espace. Cette résille, prend en compte les aménagements nécessaires aujourd'hui mais anticipe les mutations et besoins recensés pour le futur.

2.1.2 Modèle urbain durable

2.1.2.1 Infrastructures

La circulation automobile, est le premier dysfonctionnement qui a été identifié. En effet, les véhicules motorisés sont très présents dans le quartier car une place importante leur est dédiée. Toutes les rues sont traitées à l'identique : trottoir-stationnement-voirie-trottoir (figure 20). Ceci engendre des vitesses excessives et rend les déplacements doux compliqués.



Figure 19: Etude des îlots de chaleur sur le secteur Beaussier à Belle-Beille (VIZEA, 2020)



Figure 20: Composition des rues de Belle-Beille (Recurt, 2020)

De plus, le quartier est difficilement accessible depuis le reste de la ville autrement que par voiture. La végétation est un autre dysfonctionnement qui a été identifié car il y a peu de végétal. Pour répondre à ces dysfonctionnements, le projet a été conçu avec une restructuration des voiries et une hiérarchisation des déplacements. Les déplacements alternatifs vont être mis en avant avec la mise en place d'une voie de tramway qui sera complétée d'un réseau de bus adapté qui desservira l'ensemble du quartier. Une offre de voitures électriques partagées pour diminuer le nombre de voitures au sein du quartier va être développée avec des espaces appropriés à ce service (parkings, garages à vélo, places réservées). Les modes de transports doux ou écoresponsables sont favorisés via la création de voies partagées et de parcours verts permettant de connecter les différents pôles du quartier. Tous ces dispositifs ont pour objectif de désenclaver le quartier et de limiter l'utilisation de la voiture (Annexe III).

2.1.2.2 Stratégie de construction

Les bâtiments actuels sont vieillissants. Ils vont donc être réhabilités ou détruits puis reconstruits de manière à s'intégrer dans le paysage et laisser plus de place aux piétons (projet de l'ANRU). Premièrement, l'orientation des bâtiments va être repensée dans le but de diminuer la consommation énergétique tout en assurant un confort thermique.

Ainsi, le bâtiment doit être orienté de manière qu'en été il n'y est pas de surchauffe qui se crée, mais qu'en hiver suffisamment de lumière puisse rentrer pour chauffer l'intérieur, et ceci en permettant la création d'un couloir de vent comme, cela est présenté sur la figure 21 ci-contre. Ces paramètres sont ajustables par la présence de végétation. On parle de bâtiments bioclimatiques. Pour augmenter sa performance tout en alliant un faible impact sur l'environnement, de nouvelles techniques de construction seront développées avec notamment l'utilisation de matériaux biosourcés, composés de matières organiques renouvelables.

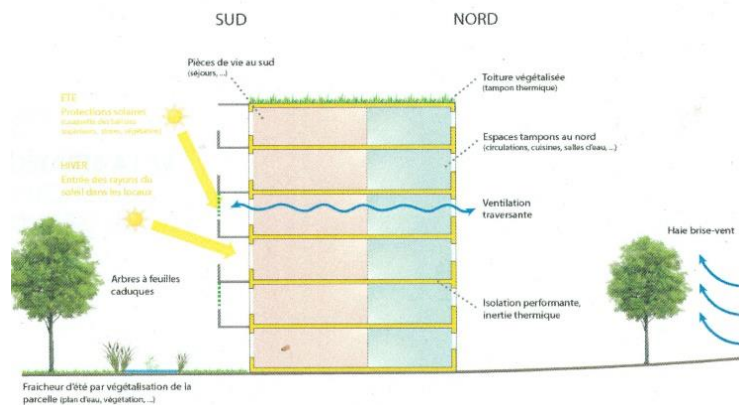


Figure 21: Principe de bâtiment bioclimatiques (Vu d'ici, 2018)

L'utilisation d'énergies renouvelables est un enjeu de la rénovation urbaine de Belle-Beille. Un réseau de chaleur avec pour ressource la biomasse permet d'alimenter une grande partie du quartier. Ce réseau sera complété par l'installation de panneaux photovoltaïques sur les toitures. Seulement une petite partie des toits sera exploitable car ils n'ont pas tous une orientation suffisamment ensoleillée. Ces installations permettront de produire une partie de l'énergie électrique localement.

Pour aller plus loin dans la démarche, les aménagements et les constructions sont imaginés pour répondre aux besoins d'aujourd'hui, mais laissent place à la mutation et s'adaptent aux pratiques futures. Ainsi, les aménagements pourront évoluer et changer sans avoir besoin de tout reconstruire dans le futur. Pour anticiper les mutations, le travail de conception est important, les futures mutations ne doivent pas nuire au développement du quartier et modifier le fonctionnement élaboré aujourd'hui. C'est pour cela que le travail de résille prend tout son sens. Dans chaque quadrillage réalisé le changement est possible, mais il pourra ne pas impacter les autres grilles. Ainsi, le quartier gardera une cohérence d'ensemble tout en évoluant avec le moment présent. (Annexe IV)

2.1.3 Stratégie végétale

La stratégie autour du végétal s'articule en trois points : augmenter la surface végétale, dés-imperméabiliser les zones perméables et favoriser l'agriculture urbaine. Le fil rouge du renouvellement urbain est donc celui de construire un quartier vert, dans le sens, le plus végétalisé possible (Annexe V).

Le quartier dispose déjà d'espaces végétalisés, avec une maille arborée, et de grands espaces naturels (l'étang Saint Nicolas, 3km² le parc Balzac 50 ha) mais sans continuité végétale entre les espaces. Un des enjeux du projet va donc être de créer une cohérence entre les différentes entités végétales du quartier et de créer des liaisons entre les parcs alentours. Le maintien des vieux arbres et de la végétation est un axe fort du projet. Les aménagements sont pensés autour d'eux, en fonction de leurs besoins, pour, entre autres, assurer un apport naturel suffisant en eau. En outre, des espaces d'invitations ou ludiques viendront compléter l'offre et créer une frange urbaine, à mi-chemin entre parc naturel et parc urbain.

Ce lien est prolongé dans le reste du quartier et vient s'infiltrer dans les petits espaces de proximité ou des espaces plus ouverts. Ainsi, la nature prend sa place entre les surfaces minérales et vient accompagner les espaces pour améliorer le cadre de vie. Des passages traversent les îlots. Ils viennent connecter les espaces entre eux et proposer des cheminements alternatifs pour se déplacer dans le quartier. Les coulées vertes connectent également différents espaces ludiques ou reposants en cœur d'îlots. Chaque zone mise en place possède sa gestion adaptée (entretien différencié). L'ensemble de ces espaces permettent d'augmenter les surfaces végétalisées.

La dés-imperméabilisation a pour objectif de faire diminuer les surfaces minérales qui contribuent à l'accumulation de chaleur. Toutefois il est nécessaire de conserver des espaces avec des structures portantes pour supporter le poids des véhicules ou du passage des piétons. Des aménagements expérimentaux sont envisagés sur le quartier pour trouver de nouvelles techniques. Ainsi, sur des zones en enrobé, des interstices vont être faits, pour ne pas détruire complètement les aménagements existants. Ces lieux vont servir de zone test pour trouver la combinaison de facteurs la plus efficace et durable dans le temps. Par ailleurs, les parkings sont aménagés en pavés végétalisés.

La végétalisation ne se fait pas avec du gazon car il n'est pas assez durable. Il faut donc privilégier des plantes stolonifères et/ou rhizomateuses telles que l'*Achillea crithmifolia*, permettant de maintenir les pavés ensemble et d'augmenter la résistance au piétinement. Des plantes plutôt méditerranéennes pouvant résister à la sécheresse et à de fortes chaleurs seront donc utilisées.

En plus de proposer une diversité d'espaces pour répondre aux attentes de la société, les espaces verts permettent d'augmenter la biodiversité dans le quartier. Les essences et les typologies d'espaces sont diverses afin de créer des puits de carbone. Ainsi, agir sur les îlots de chaleur, permet de créer des îlots de fraîcheur naturelle. Pour recréer des espaces fonctionnels dans le temps, une trame bleue redonnant vie aux surfaces inertes est également associée.

Enfin, l'agriculture urbaine prend une place stratégique dans ce renouvellement urbain car cela permet d'assurer une production locale. Elle va se concrétiser par exemple par la mise en place de jardins partagés. Le but de ces jardins est d'amener les habitants à se poser des questions sur leur manière de consommer.

2.1.4 Gestion de l'eau

Prendre en considération l'eau dans les aménagements urbains est capital. L'eau est à la base de toute vie et est essentielle aux cycles naturels. La trame bleue est associée à la trame verte et ainsi permet de gérer l'eau sur place et non en dehors de la ville en repoussant le problème.

L'infiltration directe est possible par le biais de noues et d'espaces humides (figure 22). Ces espaces sont à associer avec la trame verte. En effet, lors de l'installation, une végétation adaptée peut être semée. Cette dernière laissera place, au fil du temps, à une végétation plus spontanée et endémique. Ces espaces permettant de recréer des corridors écologiques, favorisent la biodiversité.

Gérer l'eau à ciel ouvert est un vrai défi notamment aux pieds des immeubles qui sont recouverts de revêtements imperméables et qui ne sont pas valorisés.

Demain, le but est de faire muter ces espaces et de s'en servir comme support de gestion des eaux pluviales tout en optimisant leurs usages. Ils peuvent être pensés pour gérer l'eau avec des espaces encaissés. Ceci permettant par temps humide, de contenir les eaux pluviales et par temps sec de servir de zones de détente aux habitants (aire de jeux, promenade, etc.) (figure 23).

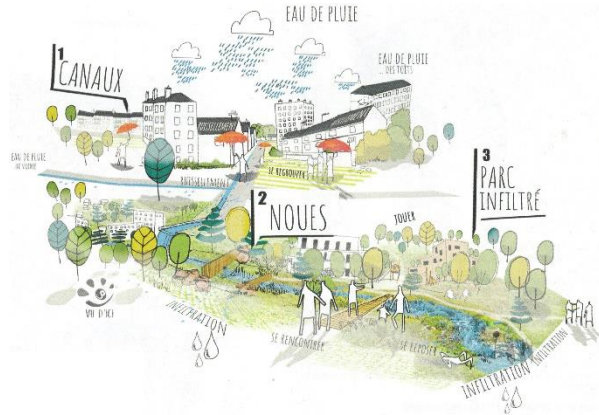


Figure 22: Schéma de principe de la liaison de la trame bleue et verte (Vu d'ici 2018)

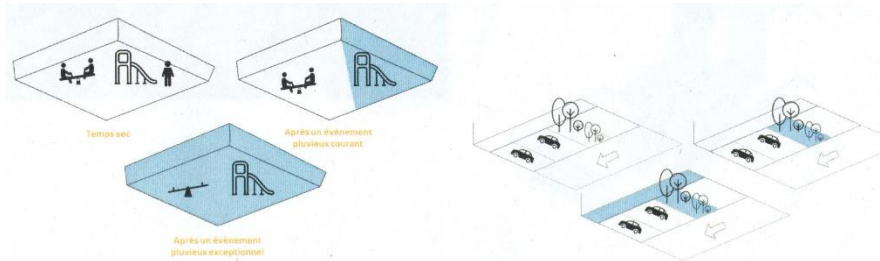


Figure 23: Schéma de principe des espaces multiusages (Vu d'ici 2018)

Ainsi, les usagers s'adaptent aux événements climatiques et ne vont plus à leur rencontre. Ces aménagements seront mis en lien avec les aménagements perméables comme sur les aires de stationnement et les zones de stockage.

2.2 Projet de la ville de Montréal, Québec

2.2.1 Présentation du projet : son contexte et ses objectifs

Montréal est très impactée par le phénomène d'îlots de chaleur, bien que la région (Québec) a un climat tempéré froid (Dubois, 2014). Certaines villes du sud du Québec, dont Montréal, peuvent avoir des influences tropicales en période estivale (Giguère, 2009). C'est dans un contexte climatique complexe et évolutif que la ville de Montréal tente de limiter ce phénomène. Depuis les années 2000, des études ont été lancées pour évaluer l'importance des ICU (figure 24) à Montréal et un suivi régulier est assuré par le réseau Environnement Prédiction in Canadian Cities (EPiCC) (Giguère, 2009).

Montréal met donc en place des actions locales de création d'îlots de fraîcheur et développe depuis plusieurs années des techniques alternatives. La ville en lien avec la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) élabore en 2002 un plan stratégique de développement durable (PSDD) de la collectivité montréalaise, qui a été révisé en 2005-2008 et en 2010-2015.

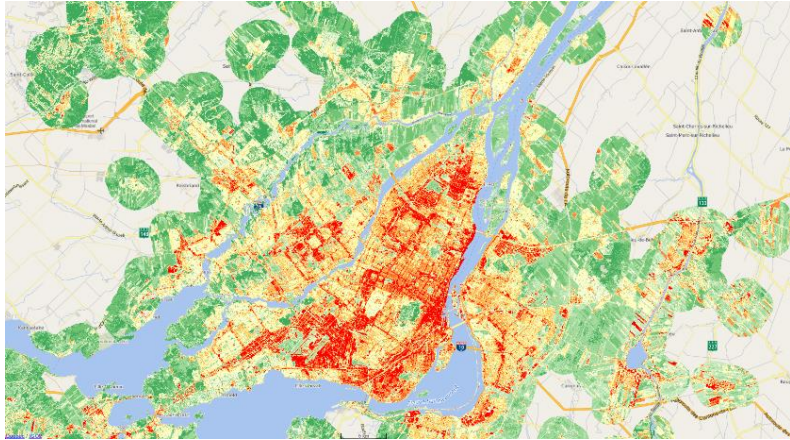


Figure 24: Représentation cartographique des îlots de chaleur à Montréal en 2015 [2]

Il a pour objectif d'améliorer la qualité de vie en période estivale, mais avant tout il

favorise le verdissement pour diminuer l'effet d'ICU (Perreault, 2014) tout en évitant l'étalement urbain. Pour cela, les mesures sont classées en quatre parties (Giguère, 2009):

- **Les mesures de végétalisation** : limiter la destruction des espaces boisés, planter un maximum d'arbres (rafraichissement) et de végétaux en général, des-imperméabilisation des surfaces et installation de murs et toits végétalisés
- **Les infrastructures urbaines** : réflexion sur le choix des matériaux, réflexion sur l'impact environnemental des travaux de renouvellement et l'optimisation de l'énergie des bâtiments
- **La gestion des eaux pluviales** : favoriser infiltration de l'eau et gérer l'eau au niveau des parties aériennes
- **Les activités anthropiques** : réflexion sur l'utilisation des énergies au sein des logements et limitation des diverses pollutions

2.2.2 Modèle urbain durable

2.2.2.1 Infrastructures

Le premier objectif du renouvellement urbain est de limiter les déplacements éloignés du domicile et limiter l'utilisation de la voiture. Pour cela Montréal multiplie les démarches en fonction du concept Transit Oriented Development (TOD). Il consiste à créer des pôles urbains de sorte que les habitants soient le plus proche possible des infrastructures de leur vie courante (travail, école, magasins de premières nécessités, etc) et, que ces lieux soient accessibles facilement et rapidement par d'autres moyens de transport que la voiture, formant « un bassin de vie de proximité ». Autour de ces pôles urbains se développe un réseau secondaire pour déplacer plus loin et sortir de son « bassin de vie ». Le réseau de bus, de pistes cyclables ou encore de covoiturage vient connecter les pôles urbains entre eux et le milieu rural (Privé, 2016).

La CMM s'est fixée de créer au moins 40% de son urbanisation autour de stations de transport collectif et à une distance maximale d'un kilomètre de ces stations (Verde, 2013).

Le deuxième objectif est de limiter les surfaces en matériaux imperméables qui ont souvent des albédos faibles. Pour cela le Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE) a établi différents tableaux (tableau 2) sur l'albédo des matériaux les plus utilisés en revêtement de surface afin de permettre aux constructeurs d'effectuer les bons choix et limiter l'utilisation de matériaux avec un albédo faible (Anquez, Herlem 2011). De plus, des techniques pour augmenter l'albédo des surfaces sont mises en place. Il s'agit par exemple de changer la couleur des matériaux pour une couleur plus claire. Des techniques étant développées pour chaque matériau et dépendent du contexte dans lequel ils se trouvent (utilisation d'éclats de cristallin sur le béton par exemple) (Rullier, 2012).

Surface de la toiture	Réflectance Solaire	Émission infrarouge ⁹	Élévation de température (°C)
EPDM - noir	0,06	0,86	46
EPDM - blanc	0,69	0,87	14
TPO - blanc	0,83	0,92	6
Bitume - surface lisse	0,06	0,86	46
Bitume - granulés blancs	0,26	0,92	35
Multi - gravier sombre	0,12	0,90	42
Multi - gravier clair	0,34	0,90	32
Bardeaux - granulés noirs génériques	0,05	0,91	46
Bardeaux - granulés blancs génériques	0,25	0,91	36
Bardeaux - revêtement élastomère blanc	0,71	0,91	12
Bardeaux - revêtement en aluminium	0,54	0,42	28
Acier - neuf, nu, galvanisé	0,61	0,04	31
Aluminium	0,61	0,25	27
Aluminium - revêtement blanc	0,59	0,85	21

Tableau 2: Caractéristiques des matériaux de surface utilisés en revêtement de toiture (Anquez Herlem 2011)

Enfin, les matériaux perméables sont privilégiés car, en plus d'avoir un albédo élevé, ils permettent l'infiltration de l'eau dans le sol (pavés en béton poreux par exemple). Ces structures sont utilisées pour des voiries piétonnes ou à très faible trafic, car leur caractère perméable ne leur permet pas d'avoir une résistance suffisante au passage régulier des voitures (figure 25).

Pavés joints perméables Revêtement végétalisé



Figure 25: Exemple de revêtement perméable utilisé à Montréal (Giguère 2009).

Le dernier objectif est de diminuer l'accumulation de chaleur par les revêtements imperméables, l'utilisation de fontaines, de jeux d'eau, de brumisateurs ou de piscines publiques est de plus en plus fréquente. Cela permet d'augmenter l'humidité de l'air et ainsi créer un ressenti plus frais. De plus, ces aménagements peuvent être mis en scène et ils participent ainsi au confort et agrémentent le cadre de vie de la ville. Toutefois, ces systèmes ne peuvent pas utiliser de l'eau de pluie ou de ruissellement et donc le bénéfice final est à interroger (Rullier, 2012).

2.2.2.2 Stratégie de construction

Afin d'optimiser le confort estival et de lutter contre les ICU, l'architecture des bâtiments, leur orientation et leur composition sont des éléments déterminant pour la consommation énergétique.

La forme du bâtiment et la taille des ouvertures jouent un rôle majeur sur le gain ou sur la perte d'énergie thermique. Cela peut avoir une influence sur le confort thermique d'intérieur mais aussi en extérieur (Dubois, 2014). En effet, le bâtiment permet de faire de l'ombre à la rue et de protéger les personnes du soleil. Grâce aux travaux du CRE sur les matériaux, leurs façades ne participent plus à l'augmentation des températures. Dans la même logique que pour le quartier de Belle-Beille à Angers, les bâtiments doivent être bioclimatiques.

Une fois l'architecture et l'orientation du bâtiment choisies il est important que l'isolation soit efficace. Elle permet d'établir une étanchéité contre le froid et la chaleur (Giguère, 2009). Une isolation efficace doit être liée à une ventilation de l'air. Pour ne pas créer de brèche dans l'isolation, la ventilation est assurée par un système de Ventilation Mécanique Contrôlé (VMC). Il permet de faire circuler l'air mécaniquement dans les logements et de faire des échanges avec les extérieurs. Ainsi, la température du bâtiment se régule au maximum toute seule sans aide artificielle (climatisation ou chauffage). La CCM a établi un récapitulatif des mesures à mettre en place pour optimiser la ventilation naturelle des bâtiments. Dans les mesures proposées, les protections du type auvent ou pergola pour se protéger du soleil quand une végétalisation autour du bâtiment n'est pas possible, sont privilégiées tout comme privilégier les toits plats pour augmenter l'isolation du bâtiment. Ces toits sont préférés végétalisés ou réfléchissant pour éviter de transmettre la chaleur accumulée (Annexe VI).

2.2.3 Stratégie végétale

La CMM mise sur un programme de végétalisation fort. Il a pour objectif de densifier et multiplier les espaces verts. Dans un premier temps, le couvert forestier de Montréal a beaucoup diminué à cause d'une expansion urbaine forte. Les projets ont pour objectif de conserver et/ou de planter un maximum d'arbres le long des axes routiers ou sur des espaces publics ou privés. Les arbres, en plus du rafraîchissement de l'air, permettent d'assurer un ombrage efficace et, maintenir une bonne qualité de l'air et de l'eau. Toutefois, pour être efficace, ils doivent être dans de bonnes conditions (espace suffisant pour le développement et accès à l'eau) et doivent être matures, car s'ils sont trop jeune ils n'ont pas suffisamment de surface foliaire et de force pour contribuer à la diminution des températures (Vergriete,, Labrecque 2007).

Dans un second temps, l'accent est mis sur la réduction des surfaces imperméables et notamment sur les zones de stationnements. Elles sont végétalisées à l'aide d'une structure filtrante (poreuse), et un revêtement en alvéoles en béton ou PVC ajourées (figure 26). Les interstices sont remplis de terre et semés de gazon. La résistance pour supporter le poids des véhicules est assurée par les alvéoles et la percolation de l'eau par le gazon installé (Giguère, 2009).

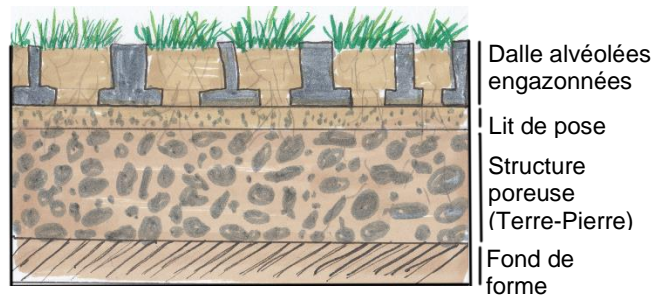


Figure 26: Coupe de principe d'alvéole engazonnée (Recurt 2020)

Dans un troisième temps, une des stratégies est l'installation de murs et toitures végétalisés. Ces systèmes permettent de protéger les bâtiments du rayonnement solaire et participent ainsi à la réduction de la température intérieure. Avec la végétation, le bâtiment augmente la performance de son inertie thermique, et contribue à la dépollution de l'air. Différents types de murs végétalisés existent, soit des murs artificiels avec des systèmes adaptés, types « mur de Patrick Blanc » soit des systèmes plus simples qui consistent à laisser des plantes grimpantes coloniser la façade du mur (figure 27). En outre, les toitures végétalisées permettent de stocker l'eau et de contribuer à sa rétention.

Lierre grimpant



Mur végétalisé Patrick Blanc



Figure 27 : Exemple de mur végétalisé (Giguère 2009 ; Hôtel Département Hauts de Seine 2005)

De même que pour les murs végétalisés, il existe différents types de toitures végétalisées en fonction des espèces végétales utilisées entraînant des contraintes d'entretien différentes. Il est nécessaire de prendre en compte la portance du bâtiment avant toute installation de ce genre de système.

Afin que la démarche de végétalisation soit complète, la CMM a créé un document pour inciter et guider les personnes à gérer leur jardin et faire des aménagements en adéquation avec les espaces publics. Ainsi, la démarche de végétalisation se poursuit au-delà de l'espace public car elle s'invite aussi chez le privé. Cela donne une cohérence plus importante à la ville et une meilleure efficacité.

2.2.4 Gestion de l'eau

En lien avec l'augmentation des surfaces végétalisées, la gestion des eaux pluviales de manière durable est importante. L'objectif des nouveaux aménagements est de favoriser l'infiltration de l'eau sur place afin qu'elle parcoure le moins de distance possible et de diminuer les risques de pollution via l'infiltration. Pour que ces aménagements soient fonctionnels et participent à la réduction des ICU, de nombreuses contraintes sont à prendre en compte. Par exemple, en plus de servir à la gestion de l'eau, ces aménagements doivent permettre d'améliorer le cadre de vie, et de créer des espaces ludiques.

Montréal développe le système de bio-rétention. Il s'agit d'aménagements végétalisés qui récupèrent les eaux pluviales et de ruissellement. L'eau est ainsi gérée sur place, elle peut être filtrée et s'infiltrer. Deux systèmes différents existent, soit l'eau peut s'infiltrer totalement sur place ou alors l'espace sert de réservoir et alors il y a infiltration partielle (figure 28). L'aménagement de système, de bio-rétention peut s'adapter à plusieurs espaces (bordure de route, parking, etc.). Toutefois, ils doivent être dimensionnés pour que les sédiments dus à l'apport de l'eau ne se colmatent pas et que l'eau ne stagne pas. Il est également important de porter attention à la proximité de la nappe phréatique pour éviter toute pollution par manque de profondeur. Pour assurer son efficacité un entretien régulier doit être garanti afin d'assurer le bon écoulement de l'eau (Garant, 2009).



Figure 28: Exemple d'aménagement de bio-rétention (Garant, 2009)

Les toits végétalisés, évoqués précédemment, constituent une grande aide pour la gestion de l'eau car ils permettent de diminuer le nombre de surfaces imperméables sur lesquelles il faut gérer l'eau. Ils permettent d'accumuler l'eau dans le substrat pour diminuer sa vitesse de ruissellement dans les ouvrages de récupération d'eau. Il en est de même pour les toits végétalisés possédant un système de récupération des eaux de pluie (Paroli, Gallagher 2008).

Enfin, sans les périphéries pavillonnaires, Montréal augmente sa capacité de gestion des eaux pluviales, en favorisant la déconnection du réseau. Il s'agit de détourner les gouttières et de gérer l'eau sur la parcelle au lieu de la renvoyer dans le réseau. Elle peut être gérée par des jardins de pluie (jardin tampon ou humide) ou stockée pour alimenter le système d'arrosage des jardins. Ainsi l'eau est absorbée lentement par le sol et réapprovisionne les nappes phréatiques. Cette technique permet de gérer l'eau sur place et ainsi délester le réseau de gestion des eaux (Garant, 2009).

2.3 Les liens entre les projets

Infrastructure		
Projet	Points positifs	Pistes d'améliorations
Belle-Beille	<ul style="list-style-type: none"> • Instauration d'une résille, comprenant une multitude de « thème » afin de créer une cohérence d'aménagement sur l'ensemble du quartier • Hiérarchisation du réseau viaire • Incitation à l'utilisation des déplacements doux 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation des aménagements en fonction des polarités existantes et non en fonction des commodités • Pas de développement de l'aspect travail dans le quartier
Montréal	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de TOD, une structure urbaine qui organise et optimise la vie courante en fonction des déplacements • Communication, sensibilisation et éducation sur les moyens de transport alternatifs 	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte de l'impact sur l'environnement faible (cout environnemental de l'extraction, cout des transports, de la réalisation, et leur pollution une fois en place) • Revêtements alternatifs utilisés avec une durée de performance courte (les revêtements poreux se colmatent rapidement et ne laisse plus l'eau s'infiltrer) • Des jeux d'eau alors que cette ressource est limitée même avec l'utilisation de l'eau de pluie il y a une perte considérable. Puis l'eau doit être traitée pour ne pas véhiculer de maladies
Commentaires		
<p>Les projets de Belle-bielle et de Montréal ont utilisé deux méthodes différentes pour organiser leurs infrastructures : résille et TOD. Ces deux méthodes soulèvent des questionnements sur leurs bénéfices. La méthode des résilles oblige la prise en compte de certains points, comme des contraintes environnementales, et permet d'anticiper les mutations futures. Toutefois, cette résille n'a pas été structurée selon la vie des habitants mais en fonction de la vie du quartier. Ainsi, la prise en compte du développement de l'emploi a été moindre pour Belle-Beille que pour Montréal, laissant plus de place aux questions environnementales. La méthode TOD de Montréal s'est plus axée sur la praticité des déplacements laissant moins de place aux questions environnementales. Il faut donc interroger cette technique sur son bénéfice réel de lutte contre les ICU.</p> <p>Le point commun des deux projets est le développement des transports alternatifs dont les transports en communs. Excepté le fait que les habitants puissent se retrouver plus facilement, cela permet un développement économique facilitant l'accessibilité aux commerces et aux loisirs.</p>		

Stratégie de construction		
Projet	Points positifs	Pistes d'améliorations
Belle-Beille	<ul style="list-style-type: none"> • Constructions bioclimatiques • Intégration des énergies renouvelables et matériaux biosourcés • Anticipation des mutations • Ecoute et prise en compte des volontés des habitants 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'une forme urbaine peu en lien avec les autres quartiers
Montréal	<ul style="list-style-type: none"> • Des constructions bioclimatiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de mise en avant explicite de l'utilisation d'énergies renouvelables et de matériaux biosourcés ou recyclés.
Commentaires		
<p>Dans les deux projets, les constructions bioclimatiques sont favorisées. Ces bâtiments ont évidemment un intérêt environnemental majeur et améliorent le confort thermique des habitants mais il y a un impact économique à prendre en compte. En effet, ces bâtiments coûtent plus cher à la construction, comparés à des bâtiments classiques, mais ils permettent de réduire considérablement les coûts liés au chauffage et à la climatisation. Il faut donc réfléchir à l'investissement et les économies réelles qui peuvent être faites sur le long terme.</p> <p>Dans sa méthode de résille, Belle-Beille prend en compte les mutations futures. En revanche ces mutations sont à remettre en perspective du fait qu'elles sont établies aujourd'hui avec les données actuelles. Il est évident qu'avec le temps, les changements prévus puissent évoluer, mais avec le travail de résille, cela permet de cadrer les évolutions et d'éviter un retour en arrière antagoniste.</p> <p>Le choix de l'utilisation des matériaux biosourcés peut être questionné. Premièrement, le coût de ces matériaux est bien supérieur à celui des matériaux classiques. De plus, des problèmes de disponibilité et d'approvisionnement peuvent également avoir lieu. Enfin, ces matériaux utilisent des ressources qui pourraient servir à l'alimentation humaine et animale. Ces trois points peuvent donc influencer la décision quant au choix de matériaux classiques, au détriment de matériaux biosourcés.</p>		

Stratégie végétale		
Projet	Points positifs	Pistes d'améliorations
Belle-Beille	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte et adaptation du projet en fonction de la végétation existante • Augmentation des surfaces végétalisées pertinentes • Anticipation du changement climatique et adaptation de la palette végétale 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation des arbres, pas toujours justifiée • Dés-imperméabiliser les pieds d'arbre peut créer une perturbation (difficulté d'adaptation de la végétation)
Montréal	<ul style="list-style-type: none"> • Incitation des citoyens et des privés (entreprise, centre commerciaux, ...), et création d'un guide de verdissement • Augmentation ou réaménagement des surfaces végétalisées 	<ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation des surfaces de stationnement peu efficace dans le temps • Végétalisation des bâtiments, un concept fonctionnel, mais attention à ses coûts d'installation et de gestion
Commentaires		
<p>La stratégie végétale mise en avant dans les deux projets, permet de lutter contre les ICU mais pas seulement. Les espaces verts apportent une attractivité aux espaces. D'une part une attractivité sociale car ces espaces créent des lieux de rencontre favorisant le lien social, ont des biens faits sur la santé et encourage l'activité physique. D'autre part, ils sont source d'attractivité économique car ils permettent de booster l'économie locale, favoriser les alentours et contribuent au développement économique de certaines filières. Par exemple, la filière horticole peut être mise en avant en fournissant une palette végétale produite localement adaptée au climat local.</p> <p>Le projet de Belle-Beille va plus loin qu'augmenter les surfaces végétalisées, il adapte et tente de prévenir du changement climatique et l'augmentation des températures. Pour cela, certaines essences de plantes sont favorisées, comme des plantes méditerranéennes résistantes au sec et aux températures élevées. Dans ce contexte, la conservation des végétaux coûte que coûte pose question. L'augmentation des températures est inévitable. Les vieux sujets ne sont peut-être pas en capacité de s'adapter à ce changement et vont vite dépérir. Alors qu'une anticipation de leur sénescence permettrait d'implanter des arbres capables d'assurer une évapotranspiration suffisante les années futures. Cela permettrait de faire une transition entre la végétation déjà implantée risquant de dépérir et celle nouvellement implantée par le projet de rénovation urbaine.</p> <p>Montréal, de ce point de vue, poursuit sa mission de gestion des espaces publics en intégrant les particuliers dans le projet. En effet, l'incitation des particuliers à végétaliser leur logement via le guide de verdissement, permet d'intégrer les particuliers pleinement. D'un point de vue social, cet aspect est très intéressant car les habitants ne sont donc pas seulement spectateurs mais acteurs du changement. Ainsi, cela permet qu'ils se sentent plus concernés par le projet et qu'ils y portent un plus grand intérêt, lui donnant plus de chance de réussite ou a minima d'acceptation des habitants du quartier.</p>		

Gestion de l'eau		
Projet	Points positifs	Pistes d'améliorations
Belle-Beille	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'espaces multifonctionnels • Concordance de la trame bleue avec la trame verte 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion adaptée à mettre en place • Réutilisation de l'eau pas possible
Montréal	<ul style="list-style-type: none"> • Déconnexion des gouttières pour favoriser une gestion sur site 	Installation de système de bio-rétention qui requiert des espaces conséquents Gestion des espaces complexes
Commentaires		
<p>Montréal avec son système de bio-rétention et Belle-Beille avec la mise en place des noues, sont deux approches différentes sur la gestion de l'eau mais qui soulève une problématique commune. Les précipitations importantes (de type cinquantennales ou centennales) sont de plus en plus fréquentes générant des problématiques sur une période très courte de l'afflux d'eau. De ce fait, les systèmes de bio-rétention ayant une capacité d'infiltration limitée peuvent potentiellement monter à crue lors de ces épisodes pluvieux. Il en est de mêmes avec les noues. La question est donc de savoir si ces installations ont été suffisamment réfléchies pour absorber ces flux.</p> <p>Par ailleurs ces deux systèmes occupent beaucoup d'espace pour fonctionner. De fait, ils permettent de créer des espaces végétalisés, apportent une plus-value au quartier mais sont en opposition avec la densification. Un équilibre est donc à trouver entre les activités économiques et l'amélioration du cadre de vie.</p> <p>De plus, la ville de Montréal a développé un système de gestion des gouttières (déconnexion) chez les particuliers, permettant, comme pour la stratégie végétale, d'intégrer les habitants dans les démarches. Cette démarche poursuit la réflexion de l'espace public en l'adaptant à l'espace privé.</p> <p>Enfin, les deux projets ont lié la gestion de l'eau avec la mise en place de la végétation, cela permet d'augmenter la diversité des espaces, de rapporter de la biodiversité en ville et de multiplier l'efficacité de l'eau et de la végétation. La trame verte et bleue, est en lien indissociable entre la végétation et l'eau. C'est deux composants permettent son efficacité</p>		

Les exemples de renouvellement urbain de Belle-Beille et de Montréal permettent de montrer un panel divers d'aménagements réalisés pour lutter contre les ICU. Toutefois, bien que l'objectif final soit identique (lutte contre les ICU), les demandes sont différentes : prise en compte de la vie du quartier pour Belle-Beille et prise en compte de la vie des individus au sens stricte pour Montréal. On se place donc à deux échelles différentes, laissant place à des points forts et des fragilités dans chaque projets. Chacun à sa stratégie pour gérer des problèmes spécifiques. Il n'y a pas de mauvaises techniques mais des améliorations sont à effectuer pour perfectionner les modèles et avoir une meilleure performance finale. Les techniques peuvent s'inspirer les unes des autres pour trouver la méthode correspondante au contexte climatique et urbain local. En effet, chaque projet et ses réalisations associées, ne peuvent pas être transposés tels quels lors d'autres aménagements urbains. C'est pour cela qu'il est important de prendre du recul sur les réalisations pour voir s'ils permettent de répondre aux objectifs fixés.

PARTIE 3 : LES PRINCIPES MISE EN ŒUVRES POUR REDUIRE LES ILOTS DE CHALEUR URBAINS

3.1 Impact des nouveaux aménagements sur le climat

De nombreuses techniques d'aménagements émergent pour lutter contre les ICU. Cependant, sont-elles « meilleures que les premières » ? Comment anticiper les évolutions pour que les aménagements soient le plus durable possible ? Dans la lutte effrénée contre les ICU, les techniques d'aménagements évoluent mais on retrouve quatre principaux domaines d'actions traitées par la suite.

3.1.1 Efficacité de la végétation

L'action des végétaux est efficace pour purifier l'air, entre autres, quand une forte concentration de végétaux est présente dans un espace dense. Ce postulat vient donc questionner l'efficacité réelle de la végétation en milieu urbain (Vergriete, Labrecque 2007) car beaucoup de villes sont sur le modèle actuel de Belle-Beille, c'est à dire la présence d'une végétation mais sans réelle continuité végétale. Ainsi, dans le cadre de politique de végétalisation urbaine, il est plus adapté de travailler à l'échelle d'un quartier, comme à Belle-Beille, pour que les mesures mises en place aient une réelle efficacité.

De surcroît, dans les villes il y a déjà une végétation existante, même minime. Cette végétation, et plus spécifiquement les arbres, sont parfois implantés depuis longtemps pour autant en termes de purification d'air ou baisse de température, leur pérennité et leur efficacité ne sont pas toujours questionnées. Il est à noter qu'un arbre en fin de vie est moins efficace qu'un arbre mature tout juste implanté. Ainsi, les politiques de conservation de la végétation sont à nuancer selon les critères pris en considération.

En outre, de plus en plus de murs et de toitures végétalisés s'installent dans les villes mais, en fonction des modalités d'installation, leur efficacité est parfois minime et indirecte. Pour que ces installations soient vraiment efficaces, il faut les installer de façon contiguë. Autrement, leur rôle de rafraîchissement et de dépollution de l'air n'est pas rempli ou de manière amoindrie et à une petite échelle très localisée (Bonhomme, 2012). Il faut aussi questionner la rentabilité économique de ces installations qui sont souvent coûteuses à installer et à entretenir. En effet, elles voient le jour dans le cadre de politiques ou de mesures de protection de l'environnement, mais elles ont parfois un rôle esthétique (car elles sont isolées et mal situées géographiquement) il faut pourtant prendre en considération l'investissement financier engendré.

Par ailleurs, les murs végétalisés de types artificiels, nécessitent un substrat et tout un système pour leur assurer une bonne pérennité. Ces installations soulèvent un problème quant à leur durabilité. Les murs végétaux plus naturels conçus fait à base de plantes grimpantes qui vont simplement se palisser le long du mur sont eux, plus durables, nécessitent moins d'entretien, sont moins coûteux, plus avantageux pour l'environnement et pour la lutte des ICU, bien que souvent moins utilisés.

Cependant, même si la végétation n'est pas entièrement efficace dans la lutte contre les ICU à proprement parlé, elle permet tout de même d'éviter l'imperméabilisation des surfaces et donc de limiter l'accumulation de la chaleur, à défaut de rafraîchir l'air en ville.

3.1.2 La dés-imperméabilisation, à quel prix

La dés-imperméabilisation est, dans le cadre de renouvellement urbain, intéressante et permet de végétaliser les espaces mais, il faut réfléchir aux conséquences que cela engendre.

Premièrement, la dés-imperméabilisation des espaces permet à l'eau de ruisseler et de s'infiltrer dans le sol. Or, quand l'eau s'infiltré directement dans le sol, elle n'est pas filtrée. Ainsi, si elle est polluée, elle pollue directement le sol, voir les nappes phréatiques et ce par inflation directe. Une réflexion sur les lieux à dés-imperméabiliser est à prendre en compte. La réflexion doit se porter sur l'emplacement géographique de ces lieux et la topographie. En effet, l'eau peut avoir ruisselée avant de s'infiltrer, accumulant beaucoup de matière potentiellement polluante.

De plus, la dés-imperméabilisation est un processus, de fait, consommateur d'énergie. Logiquement, les surfaces sont dans un premier temps rendues imperméables, puis dés-imperméabilisées et enfin rendues perméables. Toutes ces étapes nécessitent de l'énergie fossile pour se produire. De fait, ce processus engendre des déchets et la question se pose de savoir, s'il est possible de les revaloriser par la suite ou non. Alors, avant d'entamer ce genre de travaux, une attention doit être portée sur le besoin réel de dés-imperméabilisation et ce que cela va apporter pour ne pas consommer de l'énergie inutilement.

Afin de pallier aux problèmes de chaussées imperméables, des systèmes de chaussées-réservoir sont développés. La chaussée est donc faite en matériaux poreux qui vont permettre de capter l'eau, pour ensuite être collectée dans un drain sous la chaussée. Cependant, ce type d'infrastructure pose des problèmes à cause du colmatage. Les eaux de ruissellement contiennent beaucoup de sédiments, qui, en s'accumulant dans les cavités colmatent les surfaces perméables et donc les bouchent. D'autre part, l'eau collectée dans ce type d'installation doit nécessairement être traitée car beaucoup de polluants sont présents sur la chaussée.

3.1.3 Pertinence de l'utilisation des ressources

Montréal a décidé de développer des espaces de fraîcheur au cœur de la ville via l'installation de jeux d'eaux par exemple, mais ces installations posent question. En effet, elles sont alimentées par de l'eau du réseau urbain, de l'eau donc détournée du cycle naturel et traitée. L'eau de pluie ne pouvant pas être utilisée car elle est potentiellement vectrice de maladies. L'eau dans ce type de systèmes doit donc forcément être traitée. Ainsi, ce type d'aménagement apporte un certain confort en saison estivale à la population mais l'utilisation de l'eau est à réfléchir étant donné que ce n'est pas une ressource illimitée.

D'autre part, les deux villes présentées en exemple, ont la volonté de développer les transports alternatifs et plus spécifiquement les véhicules électriques (voitures, trottinettes, etc.). Ces véhicules ont donc besoin d'électricité pour fonctionner. Actuellement, en France, l'énergie électrique produite est majoritairement nucléaire posant des problèmes de recyclage, des déchets et d'approvisionnement en matière première (entre autres). Plus généralement dans le monde, l'électricité produite, si elle n'est pas nucléaire, est issue des centrales fonctionnant aux énergies fossiles, ce qui n'est pas non plus idéal pour l'environnement. Se pose donc la question de la provenance de l'électricité. Par ailleurs, les énergies renouvelables produisent peu d'électricité et pas suffisamment pour compenser l'augmentation des besoins électriques liés à la démocratisation de ces véhicules. En effet, le fait de développer des modes de transport alternatifs électriques fait nécessairement augmenter la demande en électricité. Ainsi, excepté le mode de production de l'électricité, est-ce qu'à l'avenir la capacité de production électrique sera suffisante pour répondre à cette demande croissante ?

Enfin, l'installation de panneaux solaires se démocratise de plus en plus et est très favorisée. Toutefois, comme pour les batteries de véhicules électriques, il se pose la question du recyclage. A l'heure actuelle, il n'existe aucune réelle solution pour recycler entièrement ces objets et ce de manière durable. Ainsi, l'intérêt écologique de ces objets est donc remis en question, à savoir si la pollution qu'ils engendrent est supérieure ou non aux objets similaires fonctionnant aux énergies fossiles.

3.1.4 Performance du réemploi/ nouvelle technique d'aménagement (pollution, durabilité, ...)

Le réemploi peut se manifester de différentes manières. L'enrobé est un matériel qui peut être réutilisé sous différentes formes (séparation ou non de ses composants, etc.). Cependant, en fonction de la forme choisie, cela peut être plus ou moins polluant. De plus, souvent, l'enrobé recyclé perd en performance comparé à un enrobé neuf. Sa qualité est amoindrie par la qualité des agrégats récupérés. De ce fait, un ajout d'adjuvant ou de bitume « neuf » est nécessaire pour obtenir un matériau aux performances similaires. Ici, l'exemple de l'enrobé nous montre les limites du réemploi. Bien que cela soit valorisé par la société et donc toujours très apprécié, il faut interroger les impacts et les atouts environnementaux de ces pratiques. A ce jour, beaucoup de matériaux sont recyclables, mais seulement partiellement. Les produits n'étant pas destinés à être recyclés, ils sont conçus de telle manière qu'il est difficile de les recycler.

Il devient indispensable de penser au réemploi dès la conception. Il faut d'abord s'interroger sur les matériaux utilisés pour savoir s'ils sont potentiellement réutilisables voire recyclables, pour exclure au maximum les matériaux non recyclables et créer des processus de création qui ne freinent pas le recyclage.

Par ailleurs, dans un contexte où le développement durable prend une place de plus en plus grande, il faut porter un regard sur l'aspect financier de ce genre de pratiques car le but étant de trouver un idéal entre investissement, impact environnemental et impact sociétal. Ces trois aspects sont d'autant plus à prendre en considération étant donné que l'aspect financier est le premier regardé dans notre société actuelle. Les nouvelles pratiques non conventionnelles ont un coût initial plus élevé car elles sont moins démocratisées. Toutefois, ces nouvelles filières développent une économie et une activité locale en parallèle, et font appel à une main d'œuvre considérable et un savoir-faire riche. Ainsi, de nouveaux métiers apparaissent comme dans le domaine du démantèlement ou de la restauration (Bertin, Lipsky, Weill 2016).

3.2 Les limites et les manques pour aboutir à un projet adapté

De nos jours beaucoup de villes dans le monde s'intéressent à la lutte contre les ICU et mettent en place des projets et des solutions alternatives. Afin de valider ces solutions et voir si elles peuvent apporter de réels bénéfices, des phases de tests sont nécessaires et permettent d'acquérir des données. D'une part, l'analyse de ces nouvelles techniques est souvent complexe et, en fonction de la manière dont elle est conduite, il peut y avoir des écarts de résultats. D'autre part, ces données manquent d'exemples concrets. Ainsi, l'ensemble des données disponibles dans la bibliographie est à prendre avec beaucoup de recul, d'autant plus qu'elles sont valables pour une situation donnée à un temps donné. En effet, chaque ICU de chaque ville est présent dans un contexte particulier qui est en perpétuelle évolution.

Afin de pouvoir exploiter les données convenablement, il est donc nécessaire de bien prendre en compte l'ensemble du contexte duquel elles sont tirées.

Ensuite, étant donné que le problème des ICU est un problème actuel, il y a finalement peu de remise en question sur les solutions proposées car l'échelle de temps est trop courte pour pouvoir prendre du recul. En effet, actuellement les données disponibles montrent des effets à court terme mais aucun dispositif n'est installé depuis assez longtemps pour connaître son impact sur le long terme (qu'il soit positif ou négatif).

Par exemple, les panneaux solaires ont été beaucoup plébiscités incitant donc des particuliers et des professionnels à s'en procurer. Quelques années après cet engouement pour ce produit, le problème du recyclage des panneaux en fin de vie se pose et, à l'heure actuelle il n'y a aucune solution viable à 100% et aucune solution n'est réellement mise en avant. Il faut donc, avant de lancer un projet, essayer au mieux d'anticiper le futur à travers des études prospectives par exemple. Ces études permettent, pour un sujet donné, d'établir une liste exhaustive de tous les scénarios possibles en fonction de facteurs choisis. En outre, ces solutions mises en place, ne sont pas nécessairement plus vertueuses que les anciennes et il semblerait qu'elles se concentrent plus sur le problème que sur la cause en elle-même.

De plus, toutes les tentatives d'innovation sont freinées par les réglementations et le système d'assurance. Chaque projet doit être justifié et doit entrer dans les normes de sécurité pour qu'il soit accepté. De nombreuses garanties doivent être apportées pour que les maîtres d'ouvrage acceptent la réalisation de certains projets. Il est courant que de nombreuses expertises soient réalisées pour rendre le projet viable mais, il arrive que les acteurs soient réticents à conduire ces expertises par peur de l'échec et de responsabilités engagées. Les normes imposées par la législation limitent les champs d'actions et le développement de nouvelles pratiques. Le réemploi est à la limite du système. Des matériaux sont récupérés de précédentes constructions, comme le bois, le métal, le verre, et autres, pour être ensuite réinvestis dans d'autres réalisations. A l'exception du bois, par exemple, s'il ne possède pas de norme européenne CE il ne pourra pas être réemployé, alors qu'il a déjà fait ses preuves de résistance.

Enfin, la lutte contre les ICU est devenue un enjeu politique à part entière. Effectivement, il semble y avoir une vraie volonté politique pour mettre en place des projets ou à minima prendre des mesures. En France, les politiques sur le climat prennent une place de plus en plus grande dans les programmes électoraux et certaines promesses sont faites sans vraiment réfléchir aux bénéfiques, aux conséquences et sans se poser la question de savoir si ces mesures peuvent être mises en place ou non. Puis, il y a un écart entre les promesses faites et les actions réellement mises en place. En effet, même si cela tend à changer, peu de moyens sont investis dans la lutte contre les ICU et trop peu de projets peuvent aboutir.

3.3 Des techniques à expérimenter

Aidée par la progression des technologies, la recherche d'innovations ne cesse d'avancer, il est donc possible de tout imaginer. Dans le renouvellement urbain, les aménagements des chaussées sont fréquents et très coûteux. Pour lutter contre les ICU et s'adapter au changement climatique, il est important de faire évoluer nos pratiques et trouver des solutions innovantes pour réduire les coûts et leur l'impact environnemental. Les techniques présentées par la suite ont pour but de réduire notre consommation énergétique, afin de réduire les GES. C'est un levier d'action pour améliorer la qualité de l'air. Il contribue ainsi à améliorer la santé des habitants et participe à la réduction des ICU.

Les schémas classiques de construction des chaussées sont pointés du doigt car ils sont polluants et utilisent des ressources non renouvelables. C'est le cas de l'enrobé qui est issu de la filière du pétrole et qui nécessite de nombreux processus de transformation.

Pour remédier à cela des recherches sont faites sur la capacité de l'enrobé à être recyclé selon trois méthodes particulièrement expérimentées. La première consiste à utiliser les revêtements de surface qui sont excavés pour être rénovés ou démolis produisant des déchets de démolition. Quand, ils sont rénovés, ces déchets de démolitions (agrégats d'enrobé) sont soit réintroduits dans un autre revêtement ou alors utilisés dans les sous-couches de la chaussée. Cette première technique pose question sur l'évolution du bitume dans le sol. Sa structure carbonée va-t-elle évoluer et se décomposer ou rester inerte et ne va pas polluer le sol ?

Les recherches sont à approfondir pour garantir le fait que cette technique n'impacte pas plus l'environnement, et qu'elle ne pollue pas le sol sur le long terme.

Les deux autres méthodes consistent à recycler l'enrobé, à tiède ou à froid, afin qu'il soit utilisable sur les couches de surface, dans le but de diminuer l'utilisation de la matière première, le bitume. A ce jour, le recyclage à tiède est une technique qui propose des alternatives intéressantes. Jusqu'à présent, cela se faisait à chaud en centrale, sauf que le bilan énergétique n'est pas satisfaisant (Brosseaud, [sans date]). Le recyclage à tiède a l'avantage de nécessiter moins d'énergie et de ne pas perdre en performance. Néanmoins, cette technique a le reconditionnement comme limite car il se réalise en centrale et qu'il est difficile de récupérer des agrégats d'enrobé propres (nécessitant l'ajout d'adjuvants pour retrouver de bonnes performances).

Pour pallier ces dernières limites, une technique encore expérimentale voit le jour en France. Des avancées techniques ont permis de créer une route 100% recyclée. Eurovia a réalisé un chantier autoroutier en 2018 à Bordeaux utilisant seulement de la matière recyclée. Avec le programme de recherche de l'ADEME et de Vinci lancé depuis 2016, Eurovia développe une machine mobile capable de recycler à 100% l'enrobé sur place à chaud, avec un temps de réalisation compatible avec les délais. Le processus consiste à utiliser des additifs qui permettent le réemploi de l'intégralité du bitume et d'atteindre les performances de résistance nécessaires à une autoroute. De plus, ce procédé de recyclage est prévu à l'infini. Cette nouvelle technologie a un coût conséquent. Cependant, avec le processus de recyclage il n'y a plus besoin d'effectuer d'achat de granulat ou de bitume, donc moins de coûts en matière première. Sur la totalité du chantier, ce nouveau procédé a le même prix que la réalisation d'une chaussée neuve. Toutefois, il y a un gain sur l'empreinte carbone car moins de transports, d'énergies utilisées pour l'extraction, et d'énergies consommées par la centrale de transformation.

Il y a également des programmes de recherche sur les bâtiments et les déchets créés lors de la construction. Le recyclage et le réemploi des matériaux de bâtiments sont aux cœurs des nouvelles architectures. Le réemploi est une solution pour limiter la création de déchets et redonne une nouvelle vie à des matériaux. Il répond à plus d'objectifs que le recyclage qui est une transformation du produit pour obtenir un autre produit sous cyclé, qui a perdu ses qualités premières. Pour obtenir les mêmes qualités esthétiques ou qualitatives que le premier produit, des produits ou des adjuvants peuvent être ajoutés. Ainsi, ce processus n'est pas entièrement durable. C'est pourquoi le réemploi correspond mieux à une démarche liée au processus naturel où le déchet n'existe pas (Bertin, Lipsky, Weill 2016) (figure 29).

Pour que le réemploi soit efficace, il est nécessaire de l'anticiper pour récupérer les matériaux, les trier et les stocker et ainsi créer un réservoir. De plus, ce système crée une nouvelle économie qui requiert une main d'œuvre supplémentaire et un savoir-faire pour trier efficacement, et pour optimiser les matériaux. Une nouvelle activité locale peut se mettre en place et impliquer les personnes dans la réhabilitation de leur bâtiment. Cela fait évoluer également les systèmes de conception. Les matériaux ne s'adaptent pas aux projets mais c'est le projet qui s'adapte aux matériaux disponibles. Les détails techniques devront être précis et bien étudiés pour permettre la réalisation « sur mesure ».

Le réemploi peut avoir quelques limites, notamment dans la durée de vie des constructions qui peut être considérée plus faible (construction moins solide). Cela n'est pas forcément une contrainte, on peut questionner notre rapport à la durabilité des constructions. Nos réalisations sont vouées à exister pour plusieurs dizaines d'années, pour autant nos modes de vie évoluent constamment et nos pratiques également. Serait-il possible d'envisager des constructions moins durables, qui ont la possibilité d'être modulables et s'adapter aux évolutions ? Cela correspondrait à une réhabilitation illimitée en fonction des usages.

La préfabrication est aujourd'hui une technique qui permet d'anticiper et de réduire les temps de chantier. Les principaux éléments sont créés en entreprise, il ne reste plus qu'à les assembler sur le terrain. Cela joue sur les nuisances sonores qui sont moindres pendant l'assemblage, et moins longues dans la durée. La préfabrication permet aussi de répondre à de nombreux enjeux du réemploi. Elle prévoit un ensemble d'étapes pour assembler les éléments préfabriqués. Lors du démantèlement, il suffit de suivre ces étapes à l'inverse. Les matériaux sont donc plus facilement triés et ainsi plus de matériaux pourront être réemployés car moins détruits ou détériorés par la démolition.

Le réemploi allié à la préfabrication est donc une solution qui permet de mettre en place la filière petit à petit. Ainsi, les constructions réalisées peuvent être analysées et une prise de recul peut être effectuée sur la pertinence de l'utilisation de certains matériaux. Cette analyse permet de conforter cette technique afin qu'elle se démocratise et devienne le principal mode de construction.

Pour lutter contre les ICU, la végétalisation des espaces est l'une des pratiques les plus simples à mettre en œuvre avec des coûts relativement faibles, sans grand bouleversement de la structure urbaine et des résultats. *Par extenso* des bénéfices peuvent être facilement observés. Toutefois, juste planter les végétaux sans analyse et adaptation au contexte particulier de la ville, cela est insuffisant pour que les plantes aient une action complète contre les ICU. Afin d'améliorer les techniques d'aménagements, les paysagistes concepteurs développent de nouvelles techniques de conception. Par exemple, un outil d'aide à la décision a été conçu par l'ADEME et la région Hauts-de-France : ArboClimat ou maintenant Arbre en ville [3]

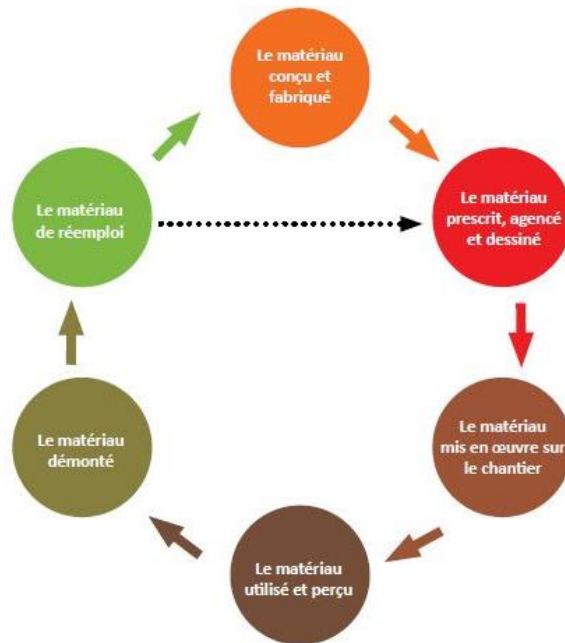


Figure 29: Cycle de vie d'un matériau, dans le processus de réemploi (Bertin, Lipsky, Weill 2016)

Cet outil permet d'aider les collectivités ou les élus à adopter une meilleure stratégie. Pour les guider, l'outil peut aider à évaluer le parc arboré existant, et son impact sur le milieu urbain. Ainsi, il est nécessaire d'avoir une base de données et un répertoire précis des espaces existant pour obtenir les informations nécessaires pour répondre aux indicateurs. Pour cela, le moyen technologique facilite les relevés, comme les GPS (Annexe VII), connectés à de nombreux satellites. Ils permettent de situer précisément les éléments sur le terrain. Il est également possible d'enregistrer une multitude d'informations comme l'état sanitaire d'un arbre par exemple, afin de constituer un SIG complet et facile à suivre en fonction des années. Avec toutes ces informations, l'outil peut envisager différents scénarios pour optimiser les plantations et leur assurer une action significative sur les ICU [4]. Des essences seront également proposées pour composer une palette végétale adaptée au climat actuel et qui correspondant aux évolutions du climat futur. Pour établir une étude approfondie et en adéquation avec les objectifs de lutte contre les ICU, six indicateurs sont établis (figure 30).

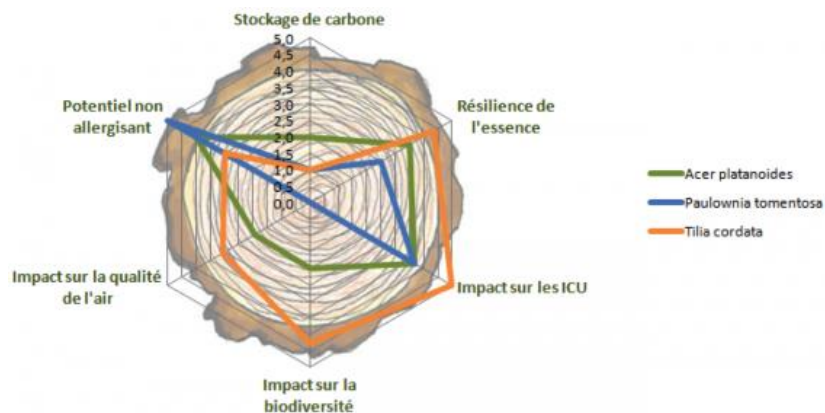


Figure 30: Comparaison de l'efficacité selon 6 indicateurs de différentes essences d'arbres [4]

L'ensemble de ces démarches a pour but de diminuer l'utilisation de matières premières pour favoriser la réutilisation de celles qui sont disponibles. Ce principe tend à se détacher du système actuel basé sur l'économie linéaire « cradle to grave » (du berceau à la tombe), pour développer l'économie circulaire basée sur « cradle to cradle » (du berceau au berceau). Cela signifie « *Que le système économique est un système d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), visent à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus. L'économie circulaire doit viser globalement à diminuer drastiquement le gaspillage des ressources, notamment mais pas seulement les matières premières et l'énergie, afin de découpler la consommation des ressources de la croissance du PIB tout en assurant la réduction des impacts environnementaux et l'augmentation* » (Geldron, 2014).

Selon l'ADEME l'économie circulaire s'organise autour de trois champs d'actions : la production, la consommation par les consommateurs, et la gestion des déchets. Au travers de ces trois axes sept piliers sont développés (figure 31), en lien étroit avec la protection de l'environnement et la réduction de l'impact des activités de la société. C'est pourquoi, ces principes sont applicables dans le renouvellement urbain et ainsi intégrés dans la lutte aux ICU. Ils sont donc conformes aux aménagements urbains.

Il est possible de les retrouver lors de la conception avec la prise en compte de l'empreinte carbone de l'habitation, en tenant compte de l'approvisionnement des matériaux et leur origine, s'ils sont issus d'une extraction ou du réemploi. Il est essentiel de développer la location ou la proposition de services. Ainsi, un lien social se crée mais, cela participe aussi à rentabiliser le matériel et augmenter sa durée de vie.

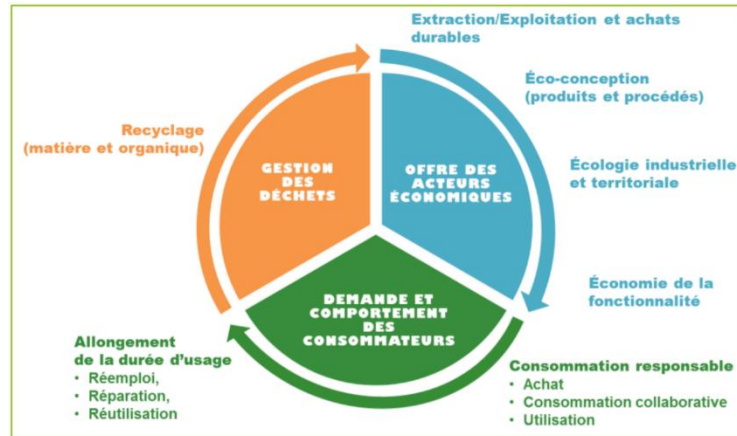


Figure 31: Les 3 domaines et 7 piliers de l'économie circulaire (ADEME 2016)

De plus, pour la gestion des déchets divers processus peuvent être mis en place pour limiter leur production. Lors du chantier, plusieurs processus sont déjà mis en place, mais cela peut s'appliquer également dans la vie locale (réduction des déchets domestiques, réutilisation de l'eau pluviale, etc.) (Latendresse, 2019).

Pour conclure, ces exemples démontrent qu'il est possible de faire évoluer nos pratiques traditionnelles dans le sens de la lutte contre les ICU. Ces nouvelles pratiques tendent à être durables mais des améliorations et un développement de nouvelles pratiques est nécessaire car beaucoup de celles actuelles sont à questionner.

3.4 Évaluer à court et long termes

Les solutions pour lutter contre les ICU sont multiples. Chaque problème a son contexte et ses particularités auxquelles il faut adapter les techniques d'aménagement. Aucune solution parfaite n'existe, la technologie et les recherches font sans cesse changer et améliorer nos pratiques. Habituellement les aménagements sont renouvelés tous les vingt à trente ans, car ils atteignent généralement leur limite d'utilisation. Cela représente une échelle de temps plutôt longue pour revenir en arrière, si jamais le projet est jugé insatisfaisant.

De plus en plus de diagnostics et de projections sont réalisés pour choisir la meilleure stratégie d'aménagement possible et éliminer au maximum les sources d'erreurs. Dans tout projet, l'idéal est de prendre du recul et d'analyser la performance de la réalisation. Cependant, dans l'aménagement urbain peu d'études sont réalisées pour contrôler le respect des objectifs établis en phase d'étude. Cette démarche pourrait apporter des réponses sur les techniques qu'il ne faut plus utiliser et permettrait également d'améliorer les phases de réflexions. La prise de recul n'est pas acceptée par tout le monde. Pour les instances publiques, il est difficile de voir que les investissements engagés sur des dizaines d'années sont perdus car les aménagements effectués ne sont pas efficaces. C'est pourtant un travail primordial pour faire avancer les recherches et obtenir des résultats concrets et ainsi tirer des conclusions. Pour mettre en place ces études d'évaluation de performance après le projet, il faut prendre en considération le travail de recherche dès les premières phases d'études.

En fonction des données comparées avant et après le projet, les techniques de mesure ne seront pas les mêmes. Il est donc important d'établir un protocole qui puisse intégrer l'état actuel, l'état après les aménagements et celui après plusieurs années de vie. Cinq échelles de temps différentes (figure 32) sont donc obtenues. En fonction des projets et des moyens possibles, les périodes d'analyses sont à adapter.

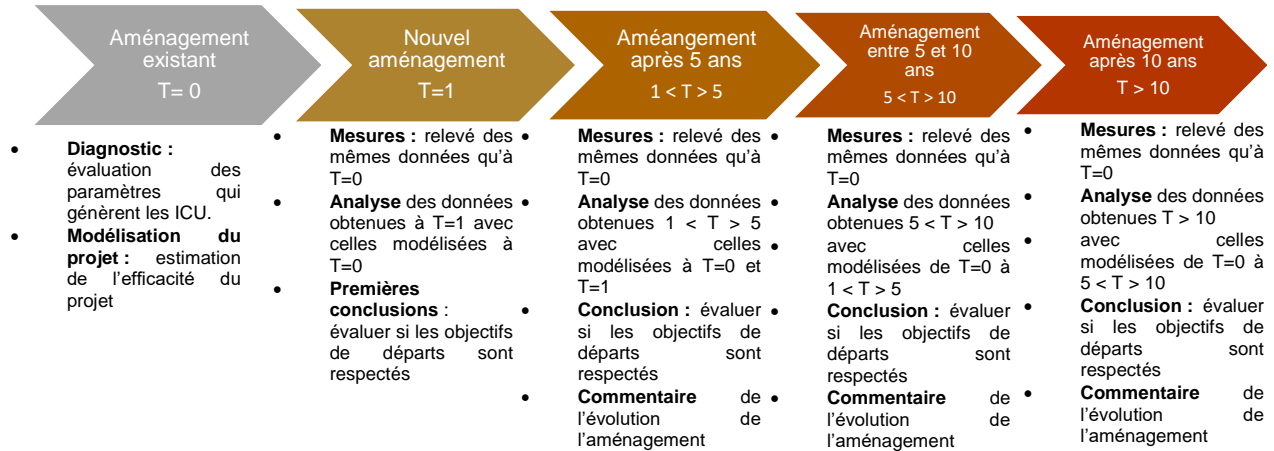


Figure 32: Frise des différents temps pour évaluer l'évolution des aménagements (Recurt 2020)

Une fois la temporalité définie, il est nécessaire de choisir les mesures à effectuer. Pour avoir une étude complète, il faut bien choisir l'échelle spatiale (bâtiment, îlot, quartier, ville) et sa précision. Une étude à l'échelle de la ville avec une précision jusqu'au bâtiment, peut devenir très conséquente et fastidieuse. Cependant, une approche globale est nécessaire pour que l'ensemble des données soit cohérente et significative. Les mesures doivent porter sur l'impact de l'aménagement sur l'environnement, en particulier les facteurs liés aux îlots de chaleur (surfaces, imperméables, albédo, etc.). Il serait également intéressant d'aller plus loin et de mesurer l'impact de l'aménagement au niveau de l'empreinte carbone et des autres pollutions. Cela permettrait d'évaluer l'ensemble de son impact du projet. Pendant la phase T=0, il serait possible de modéliser le coût environnemental de l'aménagement, ce qui pourrait mettre en évidence des démarches plus polluantes que d'autres, ainsi les réflexions ne s'orienteraient pas de la même manière.

Par ailleurs, en plus de ce type d'étude très orientée sur l'environnement et les ICU, il est important de s'intéresser aux coûts énergétiques des espaces. Cela concerne les usages mais aussi l'énergie qui a été nécessaire pour mettre en place les premiers aménagements. Ainsi, il sera possible de mettre en avant les nouvelles stratégies moins consommatrices d'énergies et, d'identifier la nécessité ou non du réaménagement. Enfin, il est essentiel de prendre en compte le confort, le cadre de vie et les dynamiques sociales (travail, commerces, loisirs) créés avec les nouveaux aménagements comparés aux précédents et, le coût financier représenté par le projet, de sa création jusqu'à sa démolition, en tenant compte de sa gestion. Ces trois thématiques permettent d'analyser l'ensemble des données nécessaires pour établir une étude complète, et évaluer le projet dans sa globalité. Ces données peuvent être de différents types : mesurables directement ou indirectement. Certaines mesures peuvent être de simples relevés, comme la température de l'air. Elles sont quantifiables directement.

D'autres relevés sont obtenus par analyse ou recherche, comme le confort thermique, qui est subjectif et qui prend en compte différents paramètres (Filiatreault, 2015). Une fois que les mesures à réaliser sont identifiées, il faut établir la méthode de traitement et d'analyse. En fonction des domaines d'étude, les méthodes varient. Il est possible d'établir des listes avec commentaire, élaborer les avantages et inconvénients, création de cartes ou encore des matrices (Cherqui, 2005).

Il est tout de même important d'avoir conscience de l'avancée de la technologie et de la différence de précision des mesures. Cela crée des différenciations ou des écarts dans les résultats. Le protocole doit prendre en compte ces marges d'erreurs ou ces changements. S'il est trop strict, il ne sera pas mené jusqu'au bout et l'étude n'aura pas de valeur. De plus, les études sont menées sur de nombreuses années, et la vie des aménagements l'est également. Il faut prendre en compte le fait que les relevés ou les études ne sont pas suivies entièrement par les mêmes personnes. La précision et la manière de prendre les mesures ne sera donc pas la même, et l'analyse non plus en fonction des sensibilités de chacun. Le suivi et l'archivage sont également des étapes à considérer dans le protocole pour que l'étude se déroule dans les meilleures conditions, et ne pas égarer les données.

Par ailleurs, au fil du temps, les aménagements vont évoluer et vont gagner ou perdre de la performance. Cette nuance doit être prévue par le protocole ou prise en compte lors de l'analyse des résultats. La courbe de la figure 33, nous démontre que la vie d'un matériau ou d'un aménagement se déroule en plusieurs étapes. Le profil de la courbe peut avoir différentes formes mais il est important d'en avoir conscience et connaître le profil correspondant à l'objet étudié. Ainsi, le comparatif des mesures en fonction des années possède une logique. Il pourra permettre également d'anticiper la phase de déclin avant d'être irréversible.

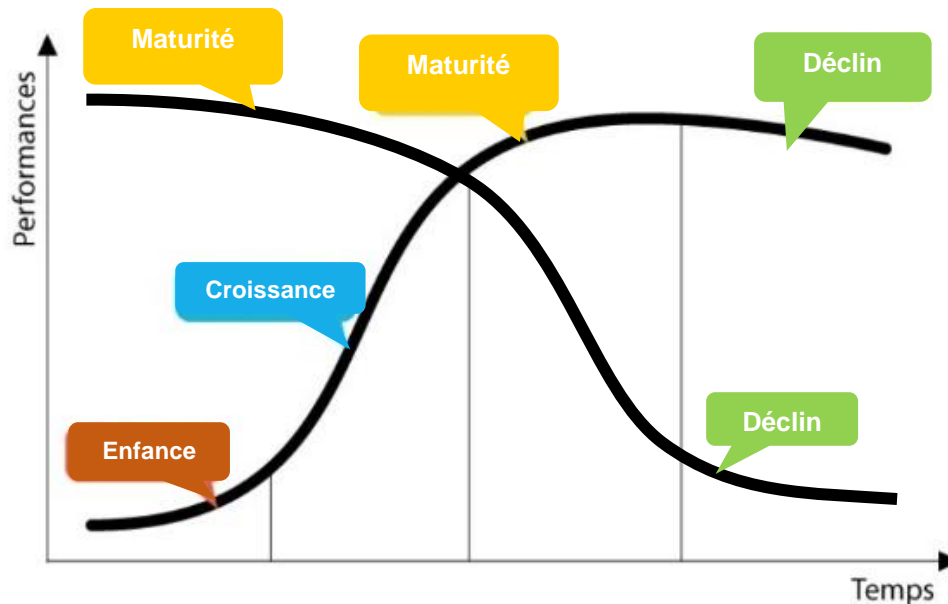


Figure 33: Exemple de courbe de performance d'un matériau (Recurt d'après Cachalou, 2020)

L'ensemble de ces mesures permet d'établir un protocole complet et efficace. Si ces protocoles sont bien établis et s'ils sont menés à bien, il est possible d'obtenir des résultats concrets, permettant de montrer ou non le bon fonctionnement des réalisations. Une véritable avancée pour faire évoluer les projets et les aménagements qui en résultent serait ainsi obtenue.

CONCLUSION

Le réchauffement climatique est indéniablement présent, engendré principalement par les activités anthropiques. Ce dernier a plusieurs résultantes dont celle des îlots de chaleur urbains. Ce phénomène moderne, qui correspond à la création d'un microclimat urbain, se généralise depuis une vingtaine d'années environ. Ce problème a été longuement délaissé (à l'exception de certaines villes), engendrant des conséquences environnementales, économiques et sociétales de plus en plus importantes avec le temps. Ainsi, dans le cadre de politique de réaménagement urbain, ces ICU sont maintenant pris en compte et mis au premier plan.

Afin d'analyser ce problème, le travail présenté s'est basé sur une démarche scientifique. En effet, dans un premier temps, il a été nécessaire de comprendre au sens large le principe des ICU, dans quel cadre ils apparaissent et observer les principales conséquences. Etant donné, que la lutte contre les ICU s'intègre dans le contexte de réaménagement urbain et, que ces travaux sont de longue durée, aucune expérimentation concrète n'a pu être mise en place dans le cadre de ce mémoire. Pour cette raison, les exemples de Belle-Beille et Montréal ont été choisis, permettant d'avoir malgré tout une base de travail et de présenter des résultats relativement concrets. Ces derniers, nous ont servis de support d'analyse pour remettre en perspective les principales faiblesses et points forts des projets de manière globale. Néanmoins, ces deux villes ne sont pas représentatives de tous les projets réalisés et donc les conclusions présentées dans ce mémoire sont à prendre avec du recul. Par ailleurs, grâce à ce travail, des pistes d'améliorations générales ont pu être proposées, déjà concrétisées pour certaines.

Par conséquent, il est possible de répondre aux hypothèses émises au départ. En effet, comme cela a été démontré, toutes les formes de végétalisation contribuent à la réduction des ICU, même si certaines sont à repenser. De plus, les nouvelles méthodes d'urbanisation présentées (résille et TOD) intègrent entièrement les problématiques environnementales, tout en prenant en compte, d'une manière ou d'une autre, les aspects économiques et sociétales des projets. Aussi l'architecture, via les bâtiments bioclimatiques, peut pleinement jouer son rôle dans la transition écologique des villes, car ces nouvelles techniques architecturales permettent de diminuer la consommation énergétique. Enfin, le problème de la gestion de l'eau en milieu urbain est majeur. Cependant, les nouveaux aménagements semblent permettre une gestion durable limitant notre impact sur l'environnement. Mais toutes ces techniques doivent s'inscrire dans une démarche globale, car elles ont un impact faible sur les ICU lorsqu'elles sont mises en place de manière distincte les unes des autres. Ceci étant très marqué pour les trames verte et bleue, qui doivent être composées ensemble pour former une seule continuité. Ainsi, les nouvelles techniques d'aménagement mises en place à l'heure actuelle, s'avèrent avoir un impact positif sur le climat urbain à condition d'intégrer les projets dans une démarche globale.

Les évolutions perpétuelles de la société et le changement climatique font évoluer les besoins des villes. Cela remet en perspective l'importance des professionnels d'aménagement du territoire, tel que les paysagistes concepteurs. Par leur diversité de champs d'action, ils intègrent conjointement les espaces verts, les infrastructures routières et l'architecture. En effet, ces acteurs permettent d'apporter une expertise sur les aménagements existants, mais proposent également des solutions adaptées et complètes pour répondre aux problématiques liées aux ICU. Les projets étant de plus en plus complexes, il est donc indispensable d'établir des études complètes faisant appel à différentes compétences de plus en plus techniques. Cela pose question sur l'évolution de la conjoncture actuelle : Comment les concepteurs peuvent changer leur manière de concevoir afin d'intégrer pleinement au projet une démarche zéro carbone ? L'économie circulaire est-elle réellement une démarche en adéquation avec le renouvellement urbain ?

BIBLIOGRAPHIE

ANQUEZ, HERLEM, Philippe Alicia, 2011. *Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions*. Chaire de responsabilité sociale et de développement durable ESG UQAM.

BADARIOTTI, Dominique, 2006. *Le renouvellement urbain en France : du traitement morphologique à l'intervention sociale*. Pau : Université de pau et des pays de l'Adour - laboratoire SET.

BERTIN, Ingrid, LIPSKY, florence et WEILL, Jean-Marc, 2016. *Réemploi et Préfabrication, en quoi la préfabrication engendre-t-elle un potentiel et une source de réemploi en architecture ?* Séminaire Matières à Penser 2015-2016.

BIGORGNE, BRIDIER, Julien, Sébastien, 2017. Les îlots de chaleur urbains du cœur de l'agglomération parisienne cahier#3 : brises thermiques. *APUR*. 2017. Vol. 3, pp. 20.

BIGORGNE, Julien et MANGOLD, Adrien, 2014. Les îlots de chaleur urbains du cœur de l'agglomération parisienne cahier#2 : simulations climatiques de trois formes urbaines parisiennes et enseignements. *APUR*. 2014. Vol. 2, pp. 40.

BIGORGNE, Julien, 2012. Les îlots de chaleur urbains du cœur de l'agglomération parisienne cahier#1. *APUR*. 2012. Vol. 1, pp. 40.

BIGORGNE, Julien, 2020. Les îlots de chaleur urbains du cœur de l'agglomération parisienne cahier#5 : Méthodes et outils de conception des projets. *APUR*. 2020. Vol. 5, pp. 48.

BONHOMME, Marion, 2012. *Création d'un outil d'aide à la décision pour un aménagement durable des espaces verts dans les municipalités*. Essai. Montréal, Québec, Canada : centre universitaire de formation en environnement -université de Sherbrooke.

BONNEVILLE, Marc, 2004. Les ambiguïtés du renouvellement urbain en France, effets d'annonce, continuité ou rupture ? Les annales de la recherche urbaine. 2004. Vol. Renouvellement urbains, n° 97, pp. 7-16.

BROSSEAUD, Yves, [2009]. *Ecologiques, sécuritaires, confortables, les enrobes de demain se feront autrement : présentation des enrobes tièdes*. Recueil d'information. Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées.

CHERQUI, Frédéric, 2005. *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier* Méthode ADEQUA. Sciences de l'ingénieur. La Rochelle : Université de La Rochelle.

COLOMBERT, Morgane, 2010. *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*. Doctorat Génie Urbain. Paris : Université Paris-Est.

DUBOIS, Catherine, 2014. *Adapter les quartiers et les bâtiments au réchauffement climatique ; Une feuille de route pour accompagner les architectes et les designers urbains québécois*. Doctorat Génie civil. Toulouse : INSA Toulouse.

FILIATREULT, Ysabelle, 2015. *Changements climatiques et îlots de chaleur : indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation*. Essai. Université de Sherbrooke : Centre universitaire de formation en environnement et développement durable.

FOISSARD, Xavier, 2014. *L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique : application à l'agglomération rennaise*. Doctorat Sciences humaines et sociales mentions communales de la France mises à l'épreuve. Spécificité Urbanisme et projet Urbain. Rennes : Université de Rennes 2.

GARANT, David, 2009. *La problématique des surverses dans l'agglomération montréalaise ; les aménagements alternatifs et complémentaires aux bassins de rétention*. Essai. Sherbrooke, Québec, Canada.

GELDRON, Alain, 2014. *Economie circulaire : notions*. 2014. ADEME.

GIGUÈRE, et al, 2009. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains revue de littérature. *L'institut national de santé publique du Québec*. 2009. N° 988, pp. 95.

LATENDRESSE, Sophie, 2019. *L'économie circulaire dans le domaine de la construction résidentielle multi logements au Québec : analyse du secteur et proposition d'un guide des pratiques innovantes*. Essai. Sherbrooke : Université de Sherbrooke.

LECONTE, François, 2014. *Caractérisation des îlots de chaleur urbain par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy*. Doctorat science du bois et des fibres. Nancy : Université de Lorraine. 35

PAROLI, Ralph.M et GALLAGHER, J.F, 2008. Les Toits verts, les toits blancs et les toits haute performance : distinguer les faits de la fiction. *NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC*. 2008. pp. 7.

PERREAULT, Simon, 2014. *Processus d'acquisition de nouvelles connaissances en urbanisme. Le cas de l'îlot de chaleur urbain*. Mémoire. Université de Montréal, Institut d'urbanisme Faculté de l'aménagement.

PHILLIPS, Céline, ADEME et SERVICE CLIMAT, 2017. Diagnostique de la surchauffe urbaine, méthodes et applications territoriales. *ADEME*. 2017. pp. 64.

PRIVÉ, Sophie, 2016. *La mobilité durable dans l'espace périurbain et rural Québécois : Scénarios prospectifs*. Mémoire. Montréal : Université du Québec, Montréal.

ROUTE, Coline, 2019. *Comment le climat urbain peut-il être pris en compte dans les projets d'aménagement paysager et urbain sous la pression de la surchauffe urbaine ?* Mémoire de fin d'étude. Angers : Agrocampus-Ouest.

RULLIER, Florent, 2012. *La place du paysagiste en ville dans un contexte de réchauffement climatique global. La question des îlots de chaleur urbains, application à Montréal*. Mémoire de fin d'étude. Angers : Agrocampus-Ouest.

VALETTE, Emmanuelle et CORDEAU, Erwan, 2010. *Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiches connaissance*. Répertoire de fiches connaissance. Ile-de-France : Institut d'aménagement et d'urbanisme.

VERDE, Matthias, 2013. *La contribution du concept TOD (Transit-Oriented Development) au plan environnemental*. Essai. Université de Sherbrooke : Centre universitaire de formation en environnement.

VERGRIETE, Yann et LABRECQUE, Michel, 2007. *Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain*. Rapport d'étape pour régional de l'environnement du Montréal. Montréal : Institution de recherche en biologie végétale.

SITOGRAPHIE

[1] ALONSO, Lucille, (2019). Ecole urbaine de Lyon - État des connaissances sur les îlots de chaleur urbains (ICU) par Lucille Alonso. *Ecole urbaine de Lyon* [en ligne]. 2019. [Consulté le 8 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://ecoleurbainedelyon.universite-lyon.fr/etat-des-connaissances-sur-les-ilots-de-chaleur-urbains-icu-par-lucille-alonso--116849.kjsp?RH=ecoleurbainedelyon>

[2] IGO2. (2015). Géoegl.Gouv. [En ligne]. 2015. [Consulté le 13 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/igo2/aperçu-qc/?context=inspq>

[3] ADEME. (2020). *arboclimat, l'arbre en ville, un outil au service des territoires urbains*. [En ligne]. 2020. [Consulté le 09 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.arbre-en-ville.fr/arboclimat/>

[4] LAURENT, Annabelle, 2019. Canicule : Végétaliser les villes, « c'est maintenant et c'est encore possible ». [En ligne]. 2019. [Consulté le 11 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://usbeketrica.com/article/canicule-vegetaliser-les-villes-maintenant-encore-possible?fbclid=IwAR1VrjgQUPxDeV5pcQ1EDGkHZZiL1cZxKOrX96vFeB0TmrE-ffc3TjYP0wM>

CFR Angers CFR Rennes

<p>Année universitaire : 2019 - 2020</p> <p>Spécialité : Paysage</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) :</p> <p>Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> D'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?

ANNEXES

Par : Pauline RECURT

Soutenu à Angers le 24 Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : **Elise GEISLER**

Maître de stage : **Aurélien ADAM**

Enseignant référent : **Emeline ESCATS GUILLOU**

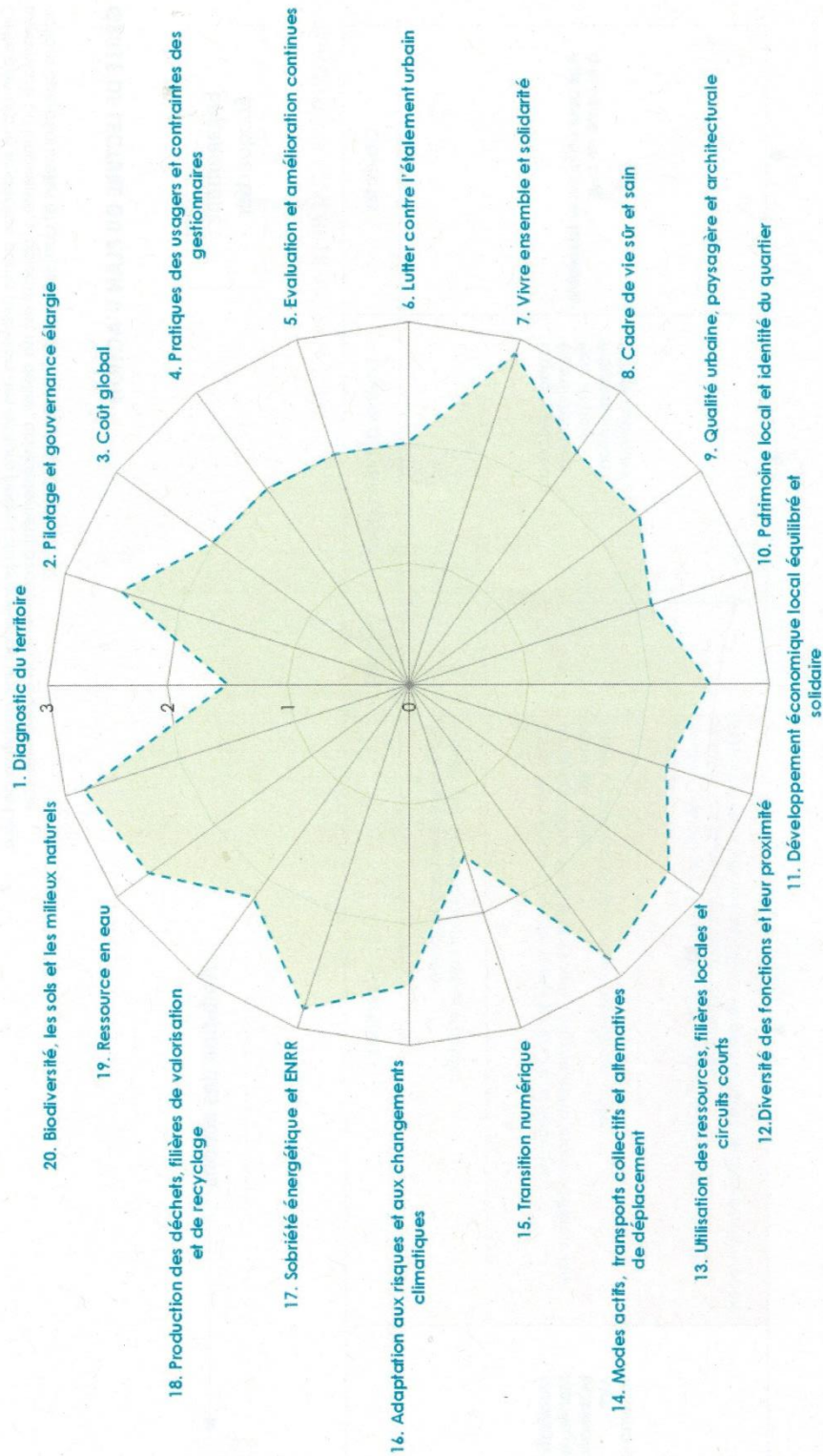
Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
«Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



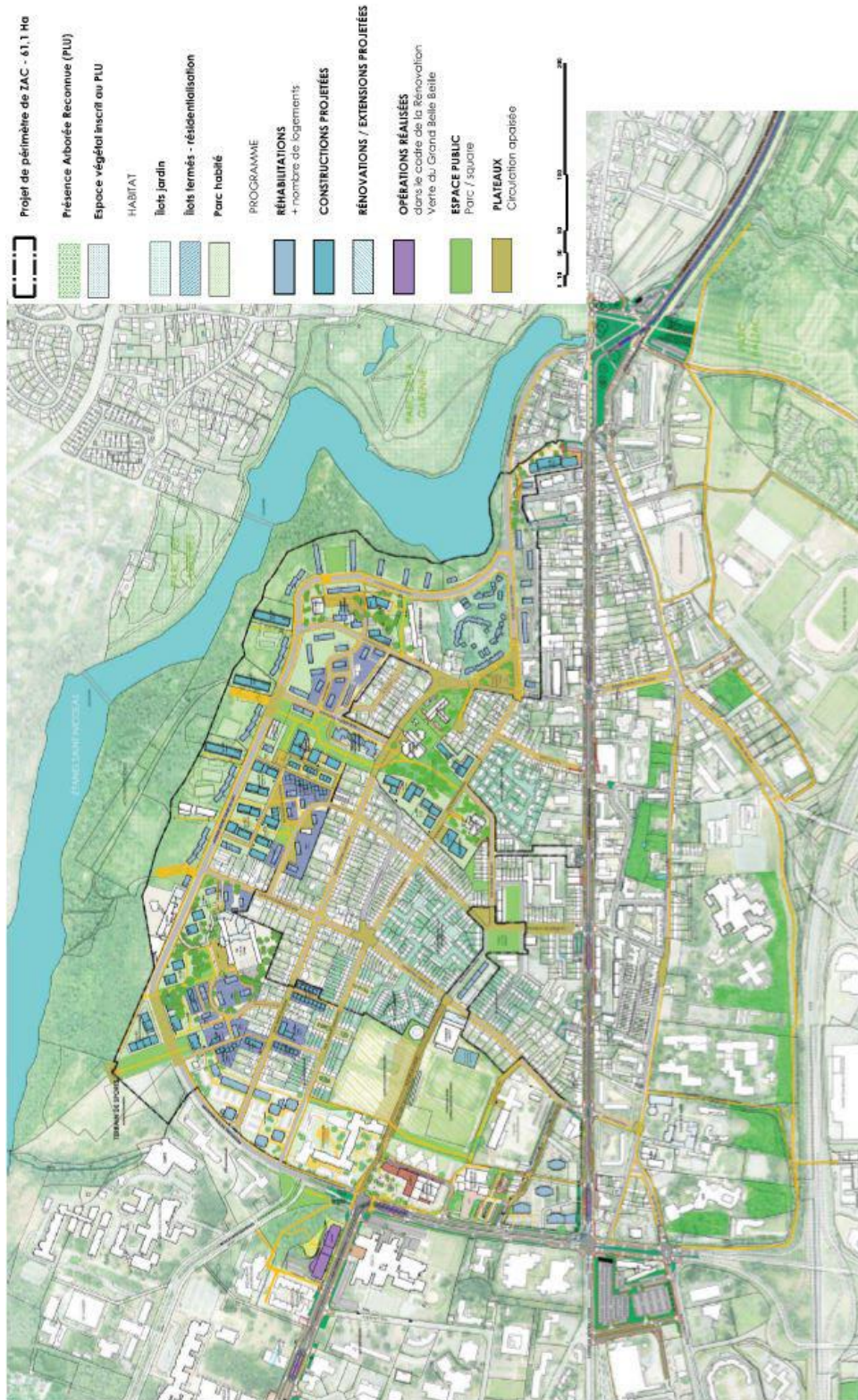
ANNEXE I : LES 20 ENGAGEMENTS POUR INTEGRER LA CHARTE ECOQUARTIER, APPLIQUES AU QUARTIER DE BELLE-BEILLE

SOURCES : RENOUVELLEMENT VERT DU GRAND BELLE-BEILLE, DOCUMENT GUIDE, ANNEXE I, 2018



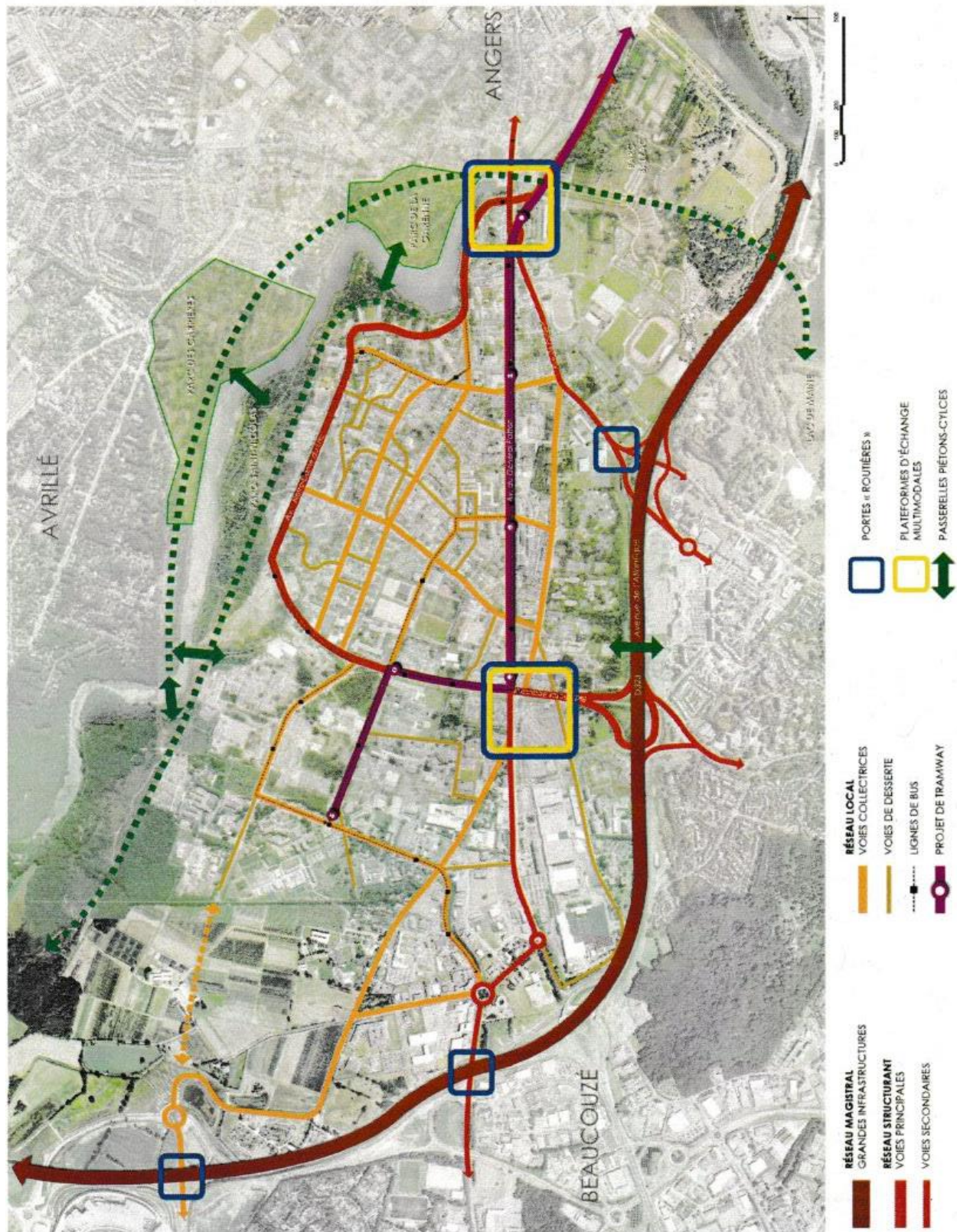
ANNEXE II : PLAN GUIDE

Sources : Renouveau vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE II, 2018



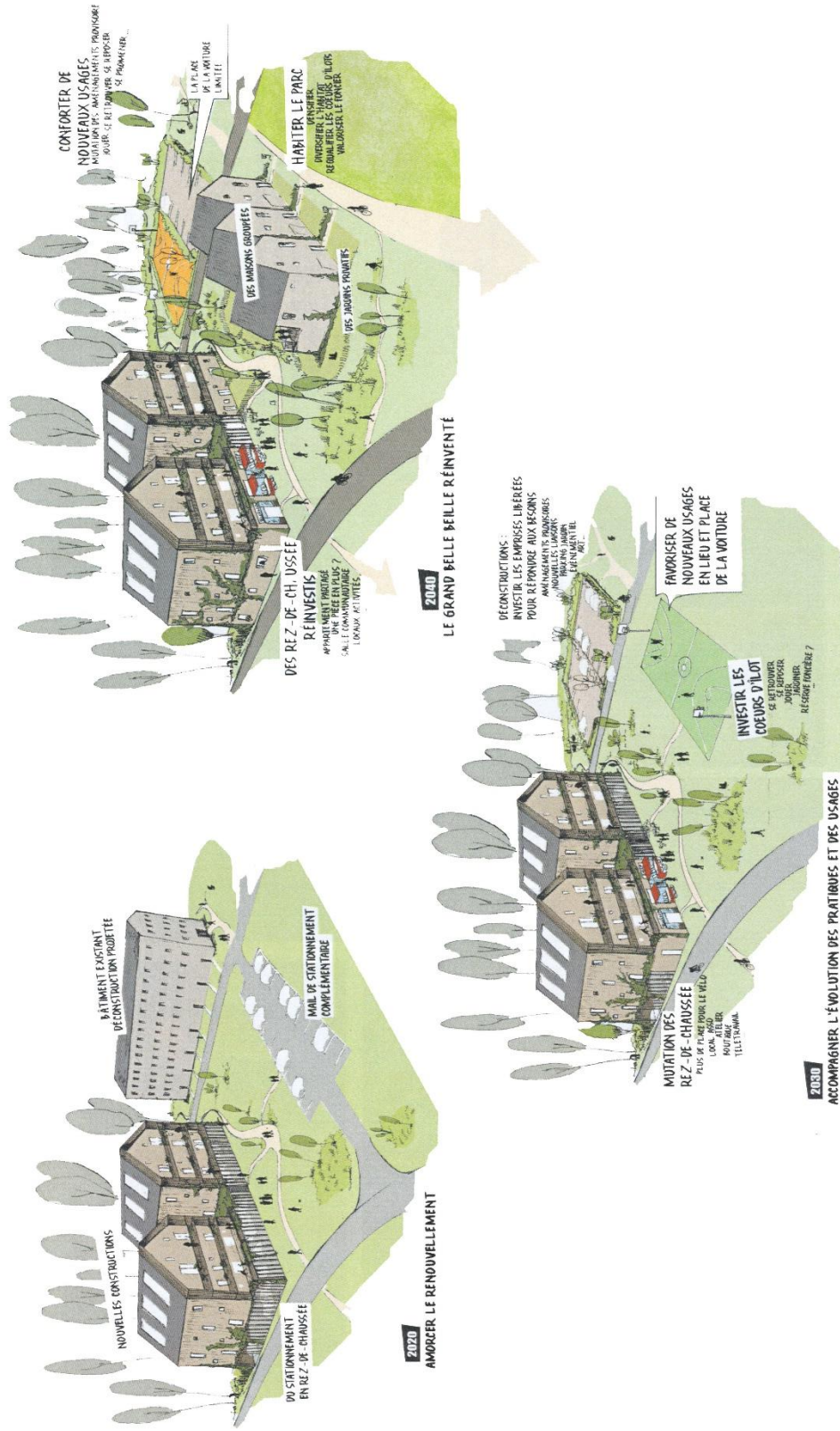
ANNEXE III : DESENCLAVER LE QUARTIER DE BELLE-BEILLE

Sources : Renouveau vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE III, 2018



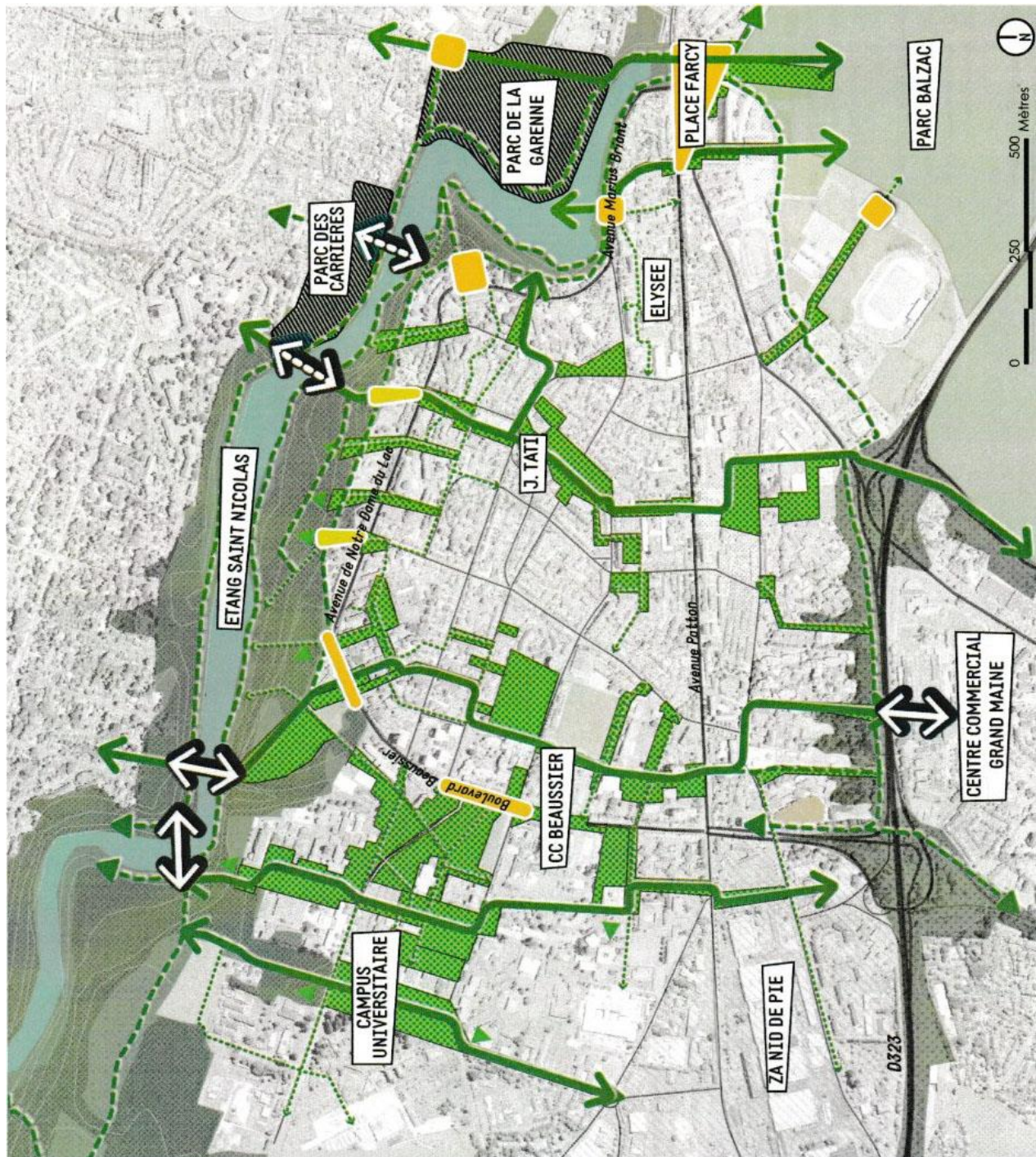
ANNEXE IV : ILLUSTRATION DES POSSIBILITES DE MUTATION

Sources : Renouveau vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE IV, 2018










ANNEXE V : ORIENTATIONS PAYSAGERES

Sources : Renouveau vert du grand Belle-Beille, Document guide, ANNEXE V, 2018



ANNEXE VI : DOCUMENT RECAPITULATIF DES PROTECTIONS SOLAIRES EXTERIEURES

Sources : Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut national de santé public Québec, ANNEXE VI, 2009

Type de protection solaire	Description	
Protections solaires fixes	Auvent Protection solaire horizontale opaque, incluse dans la structure du bâtiment	
	Brise-soleil Formé de lames disposées sur un châssis	
	Persiennes Série de lamelles extérieures fixes ou mobiles disposées sur la façade	
	Débords de toits et balcons à l'étage Protègent également les fenêtres et une partie du bâtiment du rayonnement solaire	
Protections solaires amovibles	Pare-soleil horizontaux Protègent les fenêtres, les façades ou une partie des trottoirs du rayonnement solaire	
	Volets Protègent les fenêtres du rayonnement solaire en période estivale et peuvent être retirés en hiver	
	Stores extérieurs Protègent également les fenêtres du rayonnement solaire en période estivale et peuvent être retirés en hiver	

ANNEXE VII : ARPENTGIS UN LOGICIEL DE RELEVÉ CARTOGRAPHIQUE (SIG)

Sources : fiche technique Arpentgis, D3E Géospatial, ANNEXE VII, 2020



ArpentGIS

Logiciel de cartographie

ArpentGIS est la solution idéale pour réaliser vos travaux de cartographie / topographie et alimenter ou mettre à jour vos bases de données SIG/DAO.

Elle s'articule autour de 2 logiciels :



- > ArpentGIS-Android, le logiciel de saisie terrain
- > ArpentGIS-Expert, le logiciel de traitement bureautique

FONCTIONNALITÉS PRINCIPALES

-  **Créez vos formulaires de saisie personnalisables**
avec ArpentGIS-Expert et adaptez les champs à vos besoins de collecte : listes déroulantes, saisie de valeurs numériques et alphanumériques, photographies, croquis, signatures,
-  **Contrôlez la précision**
obtenue grâce au récepteur GPS/GNSS du smartphone ou avec un récepteur GNSS externe de précision métrique à centimétrique.
-  **Affichez des données en arrière-plan**
Cadastre, Géoportail, données vectorielles, données Raster...
-  **Implantez / Naviguez**
pour vous situer rapidement sur une carte et retrouver facilement un point.
-  **Exportez et analysez les données**
enregistrées sur le terrain vers tout logiciel SIG ou DAO (ArcGIS, QGIS, AutoCAD, ...)



ArpentGIS-Expert / Personnalisation des formulaires de saisie terrain

  agriculture • alimentation • environnement	Diplôme : Ingénieur en Paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : paysage : Opérationnalité et projet Enseignant référent : Emeline ESCATS GUILLOU
Auteur(s) : Pauline RECURT Date de naissance* :17/04/1996	Organisme d'accueil : Résonance urbanisme et paysage
Nb pages : 39 Annexe(s) :7	Adresse : 2 Rue Camille Claudel, 49000 Écouflant
Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Aurélien ADAM
Titre français : Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement ont-elles un impact sur le climat urbain ?	
Titre anglais : To what extent news plannings techniques have an impact in the urban climate ?	
Résumé (1600 caractères maximum) : Les nouvelles techniques d'aménagement urbain doivent prendre de plus en plus d'éléments en compte, dont l'impact sur le climat des villes. En effet, les activités anthropiques participent grandement à la création de microclimat formant des îlots de chaleur urbain (ICU). Ce mémoire s'interroge sur l'impact de ces nouvelles techniques d'aménagement sur le climat urbain. Les projets de réaménagement urbain, dans le cadre de la lutte contre les ICU, prennent en compte beaucoup de paramètres mais quatre ont été étudiés ici pour leur récurrence dans l'ensemble des projets : végétalisation, gestion de l'eau, formes urbaines et infrastructures. Ainsi, les exemples de la ville Montréal et le quartier de Belle-Beille à Angers ont été étudiés pour leurs représentativités et leurs innovations. Ces exemples ont servi d'appui pour avoir des résultats à exploiter et à analyser. Effectivement, ils nous ont permis de pouvoir prendre du recul sur les aménagements qui sont actuellement mis en place et leur efficacité. Il a également été possible d'aller plus loin dans la réflexion en présentant l'impact réel de ces nouveaux aménagements et comment les évaluer à différentes échelles, les nouvelles techniques en cours d'expérimentation et les limites et manques des projets.	
Abstract (1600 caractères maximum) : New urban planning techniques must take more and more elements into account, including the impact on the cities' climate. Indeed, anthropogenic activities play an important role in the creation of microclimates that form urban heat islands (UHIs). This master thesis questionnes the impact of these new planning techniques on the urban climate. Urban redevelopment projects, in the context of the fight against UHIs, take many parameters into account, but four have been studied here for their recurrence in all projects: vegetalisation, water management, urban forms and infrastructures. Thus, the examples of the city of Montreal and the Belle-Beille district in Angers have been studied for their representativeness and their innovations. These examples were used as a basis for the results to be exploited and analyzed. Actually, they allowed us to take a step back from the developments that are currently being implemented and their effectiveness. It was also possible to go further in the reflection by presenting the real impact of these new developments techniques and how to evaluate them at different scales, the new techniques being experimented with and the limits and lacks the projects.	
Mots-clés : Ilots de chaleur urbain, renouvellement urbain, végétation, gestion de l'eau, infrastructure urbaine, forme urbaine, Key Words: urban heat islands, urban renewal, vegetation, water management, urban infrastructure, urban form	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires

Document à déposer sur moodle en format .txt