

Université Libre de Bruxelles  
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire  
Faculté des Sciences  
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

**La lutte contre l'îlot de chaleur urbain  
dans le contexte du changement climatique.  
Cas de la Région de Bruxelles Capitale**

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par  
GAALOUL, Hajer  
en vue de l'obtention du grade académique de  
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement  
Finalité Gestion de l'Environnement

Année Académique : 2020-2021

Directeur : Prof. M.Weikmans



## Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier mon directeur de mémoire, M. Weikmans pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui ont contribué à orienter mes réflexions tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à toutes les personnes que j'ai pu interroger pour m'avoir consacré de leurs temps afin d'échanger sur le sujet et de répondre à mes questions, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'IGEAT et les intervenants responsables de cette formation pour leurs conseils et les connaissances que j'ai pu acquérir lors de ce cursus de Master en Gestion de l'Environnement.

Enfin je remercie tous mes proches pour leur soutien et encouragement.



## Résumé

Avec le changement climatique et le risque accru des vagues de chaleur notamment en termes de durée, d'intensité et de fréquence, les villes sont particulièrement menacées en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), phénomène ancien et propre aux villes, dont les effets néfastes tendent à s'amplifier en interaction avec les vagues de chaleur.

Les mesures de lutttes contre l'ICU étant aujourd'hui identifiées dans la littérature, ce présent mémoire se veut d'évaluer l'état de systématisation de la lutte contre l'ICU en RBC. Le phénomène d'ICU étant complexe, cela a nécessité d'établir dans un premier temps un état de l'art permettant une meilleure compréhension de ce phénomène en prenant connaissance de son origine, sa définition, des facteurs, ses effets et les mesures de lutte contre celui-ci.

Ensuite, nous avons étudié la manière dont la lutte contre l'ICU est encadrée en région bruxelloise notamment à travers 3 phases de diagnostic, de mises en place des leviers d'actions et de suivi. En effet, une approche systématisée pourrait se traduire d'abord par une phase de diagnostic à différentes échelles permettant de mesurer l'ICU, d'identifier sa répartition sur un territoire donné et les zones qui sont les plus touchées, les facteurs qui l'influencent, etc. Cette phase sert d'outil d'aide à la décision aux acteurs de l'aménagement du territoire. Sur base de ces données, il s'agit ensuite de mettre en place des stratégies, des réglementations et des programmes permettant d'encadrer les leviers d'actions de lutte contre l'ICU. En dernier lieu, il est nécessaire d'établir un suivi permettant l'évaluation des différentes mesures mises en place pour lutter contre l'ICU ainsi que l'évolution de celui-ci.

L'élaboration de ce travail repose à la fois sur une recherche bibliographique de littérature grise (documents stratégiques et réglementaires en vigueur et leur éventuelles réformes, programmes opérationnels, etc.), de littérature académique ainsi que sur une série d'entretiens semi-directifs, de correspondance par e-mails, par vidéoconférences et d'un questionnaire auprès des acteurs clés la planification urbaine.

Les différents entretiens ont montré une prise de conscience par les acteurs publics de la problématique d'ICU et une volonté d'y faire face. Néanmoins, peu d'outils sont actuellement en place pour rendre cette ambition opérationnelle. Une meilleure approche prenant en compte les 3 phases mentionnées précédemment est nécessaire afin de lutter contre l'ICU. Pour les pouvoirs publics, l'enjeu est d'agir sur le tissu urbain existant afin d'améliorer sa résilience. D'autre part, les nouveaux projets de développement répondant à la pression démographique et économique réduisent l'espace disponible et risquent d'accentuer l'effet de l'ICU ou du moins de manquer l'opportunité d'améliorer l'état existant.

# Table des matières

<b>1.Introduction.....</b>	<b>7</b>
1.1 Contexte et problématique.....	7
1.2 Méthodologie.....	9
1.3 Plan du mémoire.....	11
<b>2.Etat de l’art.....</b>	<b>11</b>
2.1 Origine.....	11
2.2 Définition.....	12
2.2.1 Méthodes de mesures de l’ICU .....	13
2.2.2 Echelles de mesures de l’ICU.....	13
2.3 Phénomènes physiques responsables de la formation de l’ICU .....	14
2.3.1 Bilan énergétique global du système Terre : .....	14
2.3.2 Modification de la répartition énergétique en ville et facteurs responsables.....	16
2.4 Mesures de luttes .....	21
2.4.1 Végétalisation.....	21
2.4.2 Renforcer l’infiltration des eaux et leur présence en surface .....	23
2.4.3 Les matériaux .....	23
2.4.4 La morphologie urbaine .....	23
2.4.5 Chaleur anthropique .....	24
2.5 Impacts et enjeux.....	24
2.5.1 Santé.....	24
2.5.2 Hausse de la consommation en énergie et en eau.....	26
2.5.3 Renforcement des inégalités sociales .....	26
<b>3.Ilot de chaleur urbain à Bruxelles.....</b>	<b>27</b>
3.1 Etat des lieux (mesure et répartition spatio-temporelle).....	27
3.2 Facteurs influençant l’ICU bruxellois .....	29
3.3 Projections futures de l’ICU et des vagues de chaleur .....	30
3.4 La lutte contre l’ICU en RBC.....	34
3.4.1 Institutions bruxelloises de la planification urbaine et de l’urbanisme .....	34
3.4.2 Cadre légal.....	35
3.4.3 Cadre opérationnel.....	41

3.4.4	Outils d'accompagnement.....	42
3.4.5	Règles et actions en lien avec la lutte contre l'ICU bruxellois.....	42
3.4.6	Outils de suivi et d'évaluation.....	53
3.5	Discussion.....	55
3.6	Limites du mémoire.....	59
<b>4.Conclusion.....</b>		<b>60</b>
<b>5.Bibliographie.....</b>		<b>62</b>
<b>6.Annexes.....</b>		<b>66</b>
Annexe 1:	Guide d'entretien.....	66
Annexe 2 :	Questionnaire en ligne.....	67
Annexe 3 :	Revenu imposable médian des déclarations (2018).....	68
Annexe 4 :	Taux de mortalité standardisé (2004).....	69
Annexe 5 :	Appréciation de l'offre en espace verts (2001).....	70
Annexe 6 :	CBS+.....	71
Annexe 7 :	Carte du CBS+ de la situation existante (2020).....	72
Annexe 8 :	Carte d'imperméabilisation des sols en pourcentage (2006).....	73
Annexe 9 :	Formulaire de demande de permis d'urbanisme (annexe 1).....	74
Annexe 10 :	Topographie.....	75

## Liste des abréviations, sigles et acronymes

Apur	Atelier parisien d'urbanisme
CBS	Coefficient de Biotope par Surface
CO2	Dioxyde de carbone
CoBAT	Code Bruxellois de l'Aménagement du Territoire
COBRACE	Code bruxellois de l'Air, du Climat et de la Maîtrise de l'Energie
COV	Composé Organique Volatil
CRU	Contrat de Rénovation Urbaine
CQD	Contrat de Quartier Durable
GES	Gaz à effet de serre
IAU	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme
ICU	Ilot de chaleur urbain
IGEAT	Institut de Gestion de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire
IRM	Institut Royal Météorologique
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OMS	Office Mondial de la Santé
ONERC	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
PACE	Plan Air-Climat-Energie
PAD	Plan d'Aménagement Directeur
PCD	Plan Communal de Développement
PGE	Plan de Gestion des Eaux
PMR	Personne à Mobilité Réduite
PPAS	Plan Communal d'Affectation du Sol
PRAS	Plan Régional d'Affectation du sol
PRDD	Plan Régional de Développement Durable
PRM	Plan Régional de Mobilité
RBC	Région de Bruxelles Capitale
RCP	Representative Concentration Pathway
RCU	Règlement communal d'Urbanisme
RCUZ	Règlement communal d'Urbanisme Zoné
RCUS	Règlement communal d'Urbanisme Spécifique
RIE	Rapport sur les incidences environnementales
RRU	Règlement Régional d'Urbanisme
RRUZ	Règlement Régional d'Urbanisme Zoné
SVF	Sky View Factor
UHI	Urban Heat Island
ULB	Université Libre de Bruxelles
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VUB	Vrije Universiteit Brussel
WWF	World Wide Fund for Nature / Fonds mondial pour la nature
ZRU	Zone de Revitalisation Urbaine

## Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique de l'ICU. Source: Vairet, 2016.....	12
Figure 2 : Bilan énergétique global du système Terre. Source: Tison, 2018.....	15
Figure 3 : Représentation schématique des différents flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale pour une journée avec un ciel dégagé. La largeur des flèches permet d'approcher l'importance des flux. Source : Colombert, 2008. ....	16
Figure 4: Evapotranspiration par le végétal. Source: Apur, 2012. ....	17
Figure 5: Création d'ombrage par l'arbre. Source: Apur, 2012.....	18
Figure 6 : L'albédo de l'environnement urbain. Source: Colombert, 2008.....	19
Figure 7 : Facteur de vue du ciel en zone urbaine et en zone rurale. Source: Apur, 2012. ....	20
Figure 8 : Carte d'occupation du sol de la RBC selon la technique de réduction d'échelle dynamique urbaine à une résolution de 1km. Source: Hamdi et al.(2016). ....	27
Figure 9 : Répartition spatiale de l'ICU moyen sur 30 ans (1981-2010) pour la RBC pendant la nuit (UHI_N = a, c) et le jour (UHI_D = b, d). Source: Hamdi et al.(2016). ....	28
Figure 10 : Evolution du nombre annuel de vagues de chaleur à Uccle, sur la période 1892-2019. La valeur moyenne du paramètre sur la période est 0,34. Source : IRM, 2020.....	32
Figure 11: Evolution de l'intensité annuelle maximale des vagues de chaleur à Uccle sur la période 1892-2019. Source : IRM, 2020.....	32
Figure 12: Evolution du nombre de vagues de chaleur selon le scénario RCP 8.5 pour trois types d'environnements à Bruxelles : un rural (Brussegem en vert), un suburbain (Uccle en bleu) et un urbain (Molenbeek en rouge). Source : IRM, 2020.....	33
Figure 13: Cartes du nombre de jours de vague de chaleur par été (juin-août) pour les simulations sur 10 ans. Source : Lauwaet et al., 2015 .....	33
Figure 14: Hiérarchie des plans et des règlements d'aménagement bruxellois. Source: Vade-mecum de la réforme du CoBAT DPR 2014-2019.....	36
Figure 15 : Carte du périmètre de la ZRU (2020). Source : Perspective.Brussels. ....	42
Figure 16 : Diagramme de l'évolution spatio-temporelle de l'indice NDVI en RBC. Source : Van De Voorde et al., 2010. ....	54
Figure 17 et 18 : Conception d'un projet d'espace public à Aubervilliers à partir de données microclimatiques. Source : Agence Parisienne du climat, 2020. ....	58

## Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau récapitulatif des différents plans stratégiques et réglementaires en RBC. Source : Hajer Gaaloul. ....	41
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des volumes d'eau à gérer à la parcelle. Source : Hajer Gaaloul sur base du RIE du RRU (2018).....	48
Tableau 3 : Evolution du pourcentage de surfaces imperméables par commune. Source : Van Huysse et al., 2006. ....	55

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte et problématique

Le changement climatique associé à l'influence des activités humaines est aujourd'hui un fait incontestable (Terrin, 2015).

Avec l'augmentation de la température mondiale moyenne de 1°C par rapport aux valeurs préindustrielles, ses effets se font déjà ressentir à l'échelle de la planète comme l'élévation du niveau moyen des mers, l'acidification des océans affectant les écosystèmes marins, l'augmentation de la fréquence et l'intensité des sécheresses et des inondations, l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur, etc. (Van Gameren et al., 2014).

Qualifié de problème majeur du XXI<sup>ème</sup> siècle (Van Gameren et al., 2014), le changement climatique constitue la principale menace dans le futur. Les villes présentent une vulnérabilité particulière aux effets du changement climatique (vagues de chaleur, inondations, sécheresse). Leur forte concentration en population et en infrastructures les rend en effet très sensibles à toute modification brusque de leur milieu (Chevet et Bériot, 2010).

Selon les Nations Unies (17 Juin 2019), la population mondiale devrait passer de 7,7 milliards aujourd'hui à 9,7 milliards en 2050 et près de 11 milliards de personnes à l'horizon de 2100. Alors que plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans les villes (de l'ordre de 50,5% en 2010), les prévisions montrent que cette part continuera à augmenter pour atteindre les 70% à l'horizon de 2070 (Hamdi et al., 2015). Selon l'épisode du magazine télévisé Vox Pop intitulé « *Villes. La fin d'un modèle ?* » et réalisé par Letroll (2020), sept habitants sur dix sont des citadins en Europe. A l'horizon de 2050, la population urbaine devrait augmenter de 25 à 50% dans certaines villes.

Face à cette augmentation démographique, les villes auront tendance à croître et certains effets néfastes inhérents à la ville comme l'îlot de chaleur urbain (ICU) auront tendance à s'accroître avec le changement climatique et les risques de vagues de chaleur qui y sont liés (Terrin, 2015) impactant un nombre important de la population urbaine.

Bien que les villes nous présentent une multitude de services, le milieu urbain peut également devenir très néfaste en raison d'une mauvaise adaptation à certaines conditions telles que les vagues de chaleur. On note ici l'exemple de la canicule de l'été 2003 survenue en Europe qui a causé bon nombre de décès. Par ailleurs, l'expérience récente de la pandémie Covid-19 a également mis en évidence les limites du modèle urbain actuel avec un exode urbain très important. De nombreux citadins ont en effet quitté les villes à l'annonce du confinement au printemps 2020. Ainsi, plus de 451.000 d'habitants ont quitté Paris entre Mars et Avril. A Milan, en seulement un Week-End, environ 41.000 personnes migrent vers le sud d'Italie quant à Londres, 250.000 personnes étaient parties (Letroll, 2020). Le modèle urbain

actuel est en effet caractérisé par une forte densité urbaine, un rapport à la nature très limité et situé en dessous des recommandations de l’OMS (50m<sup>2</sup> d’espaces verts/habitants), des logements très petits, une pollution atmosphérique élevée, etc. (Letroll, 2020).

Si certaines personnes fuient les villes lors des moments de crises (climatique et sanitaire), d’autres populations peuvent paraître plus vulnérables en raison d’une mauvaise santé, de faibles revenus, d’un logement inadéquat ou d’un manque de mobilité. Leur degré d’exposition à ces événements est de ce fait élevé.

Face à ces menaces et à l’urgence climatique, les villes se retrouvent sous pression et sont dès lors tenues d’agir. Elles devraient d’une part fournir des efforts en termes d’atténuation de gaz à effet de serre (GES) dont elles sont majoritairement responsables (de l’ordre de 70% à échelle mondiale selon un rapport réalisé par le fonds mondial pour la nature (WWF) de France et EcoAct en 2018). Si l’on veut respecter l’objectif fixé par l’Accord de Paris (2015) qui consiste au maintien de la température « *nettement en dessous de 2°C par rapport aux valeurs préindustrielles en poursuivant l’action menée pour limiter l’élévation de la température à 1,5°C* », il est nécessaire de réduire les émissions des GES de l’ordre de 6% par an (Zaccai, 2021). Parallèlement au volet atténuation, il est aujourd’hui important pour les villes de diriger des actions et ressources considérables vers l’adaptation territoriale. L’adaptation territoriale consiste en une série de « *mesures d’aménagement et de gestion des terres visant à réduire les risques climatiques et à renforcer la résilience climatique des territoires* » (Born, 2018). Selon Zaccai (2021), l’atténuation permettra d’éviter l’ingérable, l’adaptation quant à elle permettra de gérer ce qui est déjà devenu inévitable.

C’est dans ce contexte que ce présent mémoire se veut être une occasion de s’interroger sur la manière dont la lutte contre l’ICU, phénomène urbain ancien dont les effets négatifs auront tendance à s’accroître avec le changement climatique, est encadrée par les villes à travers les politiques urbaines qu’elles mènent. C’est également une occasion de questionner la place qu’occupe la lutte contre l’ICU dans les politiques urbaines ainsi que sa pertinence et son efficacité.

Les mesures de lutte contre l’ICU étant aujourd’hui qualitativement bien identifiées et connues dans la littérature à travers différents leviers d’action en lien avec l’aménagement et la gestion du territoire et du bâti, l’objectif de ce mémoire n’est pas d’en faire une énième réitération. A travers l’étude du cas de la Région de Bruxelles Capitale (RBC), ce mémoire tentera plutôt d’évaluer l’efficacité des mesures de lutte contre l’ICU qui sont soit déjà mises en place, soit prévues dans le futur en étudiant les moyens existants et projetés permettant la lutte contre l’ICU et d’évaluer leur pertinence.

Nous tenterons ainsi de répondre à la question principale suivante : **Les mesures de lutte contre l’ICU sont-elles systématisées dans les politiques urbaines ?**

Les sous-questions seraient les suivantes :

- **Quels sont les acteurs et les règlements / outils existants relatifs à cette question ?**
- **Quelles sont les perspectives d'évolution de la place de la lutte contre l'ICU dans le futur ?**
- **Quelles sont les difficultés et obstacles rencontrés ?**
- **Quelles sont les opportunités afin rendre efficace la lutte contre l'ICU ? Des exemples peuvent-ils être tirés des politiques menées dans d'autres villes ?**

## 1.2 Méthodologie

Afin de réaliser ce travail, nous avons dans un premier temps élaboré, à partir de la littérature scientifique et académique, un état de l'art sur la notion d'ICU, son origine, sa définition, ses mécanismes et facteurs, ses effets, et ses mesures de lutte. Le phénomène de l'ICU étant complexe et ambigu, cette partie s'avérait nécessaire afin de clarifier sa compréhension.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes penchés sur l'évaluation de la lutte contre l'ICU en RBC. Une approche quantitative et systématisée de la lutte contre l'ICU nécessiterait dans un premier temps des mesures et des modélisations de celui-ci à des échelles différentes du territoire. Celles-ci permettent de définir sa répartition spatio-temporelle ainsi que ses évolutions. Ces cartographies et données de mesures servent d'outil d'aide à la décision aux acteurs de l'aménagement urbain et des concepteurs. Nous avons pour cela identifié l'état de l'ICU bruxellois et les enjeux qui y sont liés, sa répartition spatio-temporelle, la manière dont celui-ci a été réalisé ainsi que ses évolutions futures. Ensuite, à partir des leviers d'actions de lutte contre l'ICU identifiés dans l'état de l'art (végétalisation, renforcement de la présence de l'eau en milieu urbain, propriétés thermiques des matériaux, morphologie urbaine, atténuation des rejets de chaleur anthropique), nous avons étudié la manière dont chaque mesure est encadrée et mise en place actuellement en RBC ainsi que ses éventuelles évolutions notamment à travers les stratégies et réglementations bruxelloises et leurs éventuelles réformes ainsi que les programmes opérationnels d'aménagement urbain. Enfin, la mise en place d'indicateurs et d'outils de suivi est également nécessaire dans une approche systématisée de lutte contre l'ICU. Pour cela, nous avons mené une recherche au niveau des indicateurs existants directs et indirects en lien avec la question d'ICU ainsi que leurs éventuelles évolutions en RBC.

L'élaboration de ce travail repose à la fois sur une recherche bibliographique de littérature grise (documents stratégiques et réglementaires en vigueur et leur éventuelles réformes, programmes opérationnels, etc.), de littérature académique ainsi que sur une série d'entretiens semi-directifs, de correspondance par e-mails et d'un questionnaire auprès des acteurs clés.

Concernant les entretiens, il s'agissait d'entretiens exploratoires qui visaient à interroger l'une ou l'autre personne du domaine. Ces entretiens par boule de neige ont été réalisés avec des personnes travaillant dans des institutions bruxelloises, régionales (Bruxelles Environnement, Perspective.Brussels, Bruxelles Mobilité, Urban.Brussels) et communales (services espaces verts, service urbanisme, etc.), d'urbanisme

et d'aménagement du territoire qui nous semblaient les plus concernées par la problématique et qui nous paraissaient susceptibles de nous apporter une série d'éléments importants en lien avec le sujet de notre recherche. Bien que nous sommes conscients de ne pas avoir fait le tour de la problématique vu la richesse de la question et la multitude des acteurs impliqués, nous estimons toutefois avoir pu relever un panorama grâce aux entretiens réalisés.

Les entretiens semi-directifs ont été menés à l'aide d'un guide d'entretien<sup>1</sup> comprenant une série de questions guides. Le guide d'entretien était légèrement adapté selon la personne interviewée. Les personnes interviewées sont les suivantes :

- M. Carlo Obinu, chef de projet du Contrat de Quartier Durable "Etangs Noirs", commune de Molenbeek
- Mme. Caterina Dada, Gestionnaire de projet Plan Climat au sein du service Climat, Environnement, Energie de la commune d'Ixelles.
- M. François Mayer, Département eau à Bruxelles Environnement
- M. Géraud Bonhomme, chargé de mission stratégie territoriale, Perspective.Brussels.
- M. Juan Pablo Cieri, chef de service, division technique, commune de Molenbeek
- M. Julien Ruelle, chef du service Développement nature à Bruxelles Environnement
- Mme. Juliette Lebouilleux, Cheffe de projet au département opérationnel – Gestion de l'espace public de la commune d'Ixelles
- Mme. Mathilde Berlanger, chargée de projet stratégie territoriale de Perspective.Brussels.
- M. Pascal Fostiez responsable de la gestion des arbres en voiries au sein de la cellule plantation à Bruxelles Mobilité
- Mme. Pascale Van Plancken de la Energie, air, climat et bâtiments durables à Bruxelles environnement.
- Mme. Sandrine Buelinckx, gestionnaire à la Direction Patrimoine Culturel d'Urban.Brussels
- M. Sven De Bruycker, chargé de projet stratégie territoriale de Perspectives.Brussels
- M. Thibaut Jossart, Directeur à la Direction de l'Urbanisme d'Urban.Brussels
- M. Yannick D'Otreppe, gestionnaire de projets à la division énergie, air, climat et bâtiments durables de Bruxelles Environnement.
- Interviewé A, département urbanisme à Commune de Molenbeek
- Interviewé B, département urbanisme à la ville de Bruxelles
- Interviewé C du service espace public de la commune d'Ixelles

D'autre part, nous avons adressé un questionnaire<sup>2</sup> à une série de bureaux d'études actifs dans la planification urbaine en RBC. Le but de ce questionnaire était d'interroger les bureaux d'études chargés

---

<sup>1</sup> Annexe 1

<sup>2</sup> Annexe 2

de la conception et de l'aménagement du territoire sur la question de lutte contre l'ICU en RBC, de prendre connaissance de leur sensibilité et leur perception de la problématique, la manière dont ils y font face, les difficultés qu'ils rencontrent pour la lutte contre l'ICU, etc.

### 1.3 Plan du mémoire

Ce travail se déroulera en deux grandes parties. Une première partie (chapitre 2) sera consacrée à l'état de l'art sur la question de l'ICU reprenant son origine et sa définition, ses facteurs, ses mesures de lutte et ses effets.

La deuxième partie (chapitre 3) est quant à elle consacrée à la question de lutte contre l'ICU bruxellois dans laquelle nous allons exposer un état des lieux de l'ICU bruxellois et ses enjeux, la manière dont les mesures de lutttes contre l'ICU sont encadrées ainsi que les indicateurs et outils de suivi de l'ICU existants et futurs s'il y en a. A la fin de cette partie, nous analyserons les atouts et les freins des moyens disponibles en termes de systématisation des mesures de lutte contre l'ICU et nous tenterons de proposer quelques pistes / exemples d'applications plus avancées en la matière dans d'autres régions du monde.

## 2. Etat de l'art

### 2.1 Origine

Traditionnellement, la construction du cadre bâti et plus largement d'une ville tenait compte de l'environnement « naturel » environnant. Le climat faisant partie de cet environnement, les villes étaient ainsi bien adaptées aux conditions climatiques locales (Colombert, 2008). Ce propos est illustré par les connaissances en matière d'architecture et de construction rassemblés par Vitruve dans son ouvrage *De architectura libri decum* datant du premier siècle av. J.-C. Dans le premier livre de ce même ouvrage, Vitruve décrit les conditions à prendre en considération pour assurer un lieu sain pour les citoyens dans la construction des villes (topographie, orientations des vents, organisations de la ville, ensoleillement, etc.). Son sixième livre traite l'organisation de l'habitat pour mieux s'adapter aux conditions climatiques locales.

Par ailleurs, les avancées des connaissances scientifiques et techniques ont permis une prise de conscience des modifications climatiques locales générées par les villes formant ainsi un microclimat urbain. En les comparant avec les zones rurales voisines ou avec leurs propres situations antérieures (moins urbanisées et/ou moins denses), il a été constaté que les zones urbaines génèrent des perturbations des paramètres climatiques au sein de leurs territoires comme notamment la modification de la pluviométrie, la diminution de la vitesse du vent et l'augmentation des températures, etc. (Colombert et al., 2012). Ces modifications ont des conséquences sur la consommation énergétique des bâtiments et l'efficacité de la climatisation naturelle, la pollution atmosphérique, le confort en extérieur, la santé ou encore la faune et la flore (Colombert, 2008).

Les observations et les études des modifications générées par les villes sur leur environnement ont progressivement mené à la création d'une nouvelle branche de la climatologie appelée la climatologie urbaine. Cette branche a pour objectif d'étudier le fonctionnement de l'atmosphère urbaine et son impact sur le climat régional afin de comprendre et d'améliorer les conditions de vie et de confort dans les villes (Najjar et al., 2010).

L'ICU est le premier phénomène de la climatologie urbaine ayant été mis en évidence. Ses premières observations sont liées à l'expansion des villes. Ainsi, c'est à Londres au début du 19<sup>ème</sup> siècle que l'ICU a été observé pour la toute première fois. A l'époque, la ville était la plus peuplée d'Angleterre en raison de l'exode rural lié aux activités industrielles qu'elle concentrait (Filiatreault, 2015).

C'est avec le pharmacien britannique Luke Howard, que le phénomène d'ICU est décrit en 1818 pour la première fois dans son ouvrage *The Climate of London*. A partir de données météorologiques de températures, de précipitations et de brouillard collectées durant neuf années, il met en évidence des différences de températures entre le centre de Londres et sa campagne allant jusqu'à 3,7°C (Vairet, 2016 ; Foissard, 2016). Le phénomène d'ICU est également constaté et décrit à Paris au 19<sup>ème</sup> siècle. (Foissard, 2016).

Bien que l'on arrive à identifier les premières observations du phénomène d'ICU. Les origines de ce terme « îlot de chaleur urbain » demeurent incertaines. Filiatreault (2015) mentionne que selon Stewart et Oke, celui-ci aurait été utilisé par Manley en 1958, voire avant par Blachin et Pye en 1947.

Depuis les premières études de Howard, de nombreux chercheurs ont étudié le climat urbain. Des modèles climatiques et des instruments de mesure en constante évolution ainsi que des méthodes et des outils d'analyses devenus disponibles leur ont permis de s'approfondir sur la compréhension de ce phénomène (Filiatreault, 2015). C'est à partir des années 70 que le climatologue Oke T.R. marqua avec ses études le début de la période actuelle de la recherche sur l'ICU. Il s'agit de travaux portant sur l'origine et la compréhension des mécanismes responsables de la formation de l'ICU (Foissard, 2016).

## 2.2 Définition

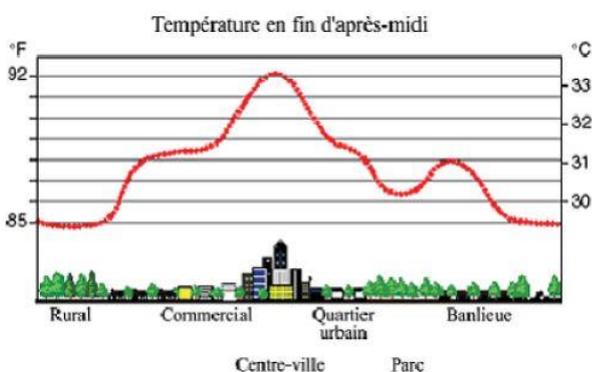


Figure 1 : Représentation schématique de l'ICU.  
Source: Vairet, 2016

L'ICU est défini comme l'écart de température observé entre la ville et sa périphérie rurale avec des températures beaucoup plus importante en ville et plus particulièrement au centre-ville pouvant ainsi atteindre jusqu'à 12°C de différence (Figure 1) (Vairet, 2016).

Bien que les études montrent des variations d'intensité de l'ICU entre les villes, en raison de leurs différences en termes de forme, de dimension, du contexte climatique, etc. (Foissard, 2016), celles-ci montrent néanmoins l'existence de traits communs aux différentes villes par rapport au comportement de l'ICU.

En effet, au sein d'une même ville, l'ICU présente une variation journalière. Ainsi, la différence de températures entre la ville et ses environs apparaît dès la fin de l'après-midi et augmente progressivement jusqu'au milieu de la nuit. L'écart maximum est atteint autour de minuit. Ceci permet d'affirmer que le phénomène d'ICU est principalement nocturne. Outre cette variation journalière, les études montrent aussi une variation de ce phénomène en fonction des saisons. Ainsi, l'ICU est présent de manière plus intense l'été que pendant l'hiver (Terrin, 2015 ; Colombert, 2008).

### 2.2.1 Méthodes de mesures de l'ICU

Il existe principalement deux façons pour mesurer l'ICU. Une mesure directe de la température de surface ou de l'air par l'intermédiaire de capteurs reliés à un centre d'observation fixe ou mobile (station thermique). La mesure indirecte est réalisée quant à elle via satellite qui détecte le rayonnement émis par les surfaces (Filiatreault, 2015).

### 2.2.2 Echelles de mesures de l'ICU

On retrouve principalement trois échelles de mesure de l'ICU qui sont l'ICU de surface, l'ICU de canopée et l'ICU atmosphérique.

#### 2.2.2.1 *Îlots de chaleur de surface*

Il s'agit de l'échelle de mesure de la quantité de chaleur au niveau des surfaces (matériaux, végétation, etc.). L'ICU de surface est mesuré soit à distance par le moyen d'un satellite qui permet d'enregistrer l'énergie émise ou réfléchi par une surface donnée sous forme d'image, soit les pieds sur terre au moyen d'un thermomètre numérique à rayonnement infrarouge où il est possible, sans contact, de mesurer les températures des surfaces des bâtiments ou des revêtements de sol. Il est plus précis que l'analyse cartographique d'images, mais il peut être plus laborieux de réaliser un relevé de l'ICU sur un large territoire avec cette technique (Filiatreault, 2015).

#### 2.2.2.2 *Îlot de chaleur dans la canopée*

Il s'agit de la température de l'air mesurée à environ 1,5m du sol. Cette échelle de mesure correspond à la température ressentie par l'homme et est de ce fait la plus utilisée pour qualifier l'ICU. Elle est mesurée par le moyen de stations thermiques fixes implantées au niveau de la ville et de sa périphérie ou mobiles (automobiles, etc.) (Filiatreault, 2015).

### 2.2.2.3 *Îlots de chaleur urbain atmosphérique*

Cette échelle de mesure de l'ICU se présente au niveau de la couche limite urbaine. Elle est mesurée par l'intermédiaire de sondes qui sont envoyées par ballons et des stations thermiques qui sont implantées aux toits des constructions, en milieu rural et urbain (Filiatreault, 2015).

## 2.3 Phénomènes physiques responsables de la formation de l'ICU

L'ICU se traduit physiquement par une modification des transferts énergétiques composant le bilan énergétique terrestre. Celui-ci étant à la base du système climatique, il consiste en des échanges d'énergie entre l'atmosphère et la surface de la Terre sous forme de radiation et de chaleur. A cause de certains facteurs principalement liés à l'urbanisation, l'énergie reçue au niveau du sol urbain va être répartie différemment. Cette modification dans la répartition énergétique est responsable d'une hausse de la température en milieu urbain par rapport à ses environs.

Afin de comprendre plus en détail les mécanismes et les facteurs qui sont responsables de la formation du climat urbain et plus spécifiquement de l'ICU, une brève explication du bilan énergétique global du système Terre serait nécessaire.

### 2.3.1 Bilan énergétique global du système Terre :

Comme nous l'avons déjà vu dans le cours de « Climat : Sciences et politiques » (Tison, 2018) et comme le résume le schéma de la figure n°2, la Terre (surface + atmosphère) reçoit en moyenne  $342,5 \text{ W/m}^2$  du rayonnement solaire. Ce rayonnement se situe principalement dans le visible (courtes longueurs d'ondes). Avant d'arriver à la surface terrestre, cette énergie va franchir l'atmosphère et va subir de nombreuses modifications.

Une partie de cette énergie va être réfléchi d'une part par les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère en altitude et sera renvoyée vers l'espace ( $77 \text{ W/m}^2$ ) et d'autre part au niveau du sol ( $30 \text{ W/m}^2$ ). Ceci correspond à la notion d'albédo.

Une autre partie de cette énergie ( $67 \text{ W/m}^2$ ) va être absorbée par le milieu atmosphérique à travers les molécules qui s'y trouvent. Le reste de l'énergie va être absorbé par la surface ( $168 \text{ W/m}^2$ ).

Afin de maintenir un équilibre énergétique, cette énergie absorbée va être resituée vers l'atmosphère. On distingue trois types de transfert énergétique. Le premier correspond au rayonnement tellurique. Il s'agit de la radiation d'énergie émise par la surface de la terre vers l'espace dans des longueurs d'onde de l'infrarouge ( $390 \text{ W/m}^2$ ). En fonction de la longueur d'onde, le rayonnement de cette énergie aura trois trajectoires différentes. Une première petite partie de cette énergie traverse l'atmosphère par la fenêtre atmosphérique et est directement renvoyée vers l'espace ( $40 \text{ W/m}^2$ ). Le reste de l'énergie sera absorbé par l'atmosphère et sera réémis par celle-ci en partie vers l'espace ( $165 \text{ W/m}^2$ ). L'autre partie sera réémise vers la surface ( $324 \text{ W/m}^2$ ). Ce piégeage du rayonnement thermique par l'atmosphère

permet une élévation de la température de surface de l'ordre de 33°C. En l'absence de l'atmosphère, la température d'équilibre de la planète serait de -18°C. Il s'agit du phénomène d'effet de serre naturel (Delmas et al., 2007). Le réchauffement global observé aujourd'hui est seulement une intensification de l'effet de serre naturel, que l'on appelle effet de serre additionnel. Celui-ci est responsable actuellement d'une augmentation de l'ordre de 1°C, déjà suffisante pour générer des modifications climatiques considérables (Delmas et al., 2007).

Deux autres processus sont impliqués dans le maintien de l'équilibre énergétique. N'étant pas de nature radiative, ceux-ci font intervenir notamment le cycle de l'eau. Le premier correspond au flux chaleur sensible. Il s'agit d'un échange de chaleur par conduction thermique entre la surface et l'air. Le fait que le sol se réchauffe, celui-ci va chauffer l'air qui lui est proche par transfert direct de chaleur (24W/m<sup>2</sup>). On distingue ensuite le flux de chaleur latente qui correspond à l'énergie absorbée utilisée pour modifier l'état physique d'une matière, en faisant passer par exemple l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur. Le flux de chaleur latente est utilisé notamment dans le processus d'évaporation et d'évapotranspiration. (78 W/m<sup>2</sup>). Ces transferts non radiatifs atténuent l'effet de serre. Sans leur présence, la température à la surface de la Terre serait de 37°C (Delmas et al., 2007).

Il existe donc un échange constant entre l'atmosphère et la surface de manière que le bilan radiatif terrestre soit toujours en équilibre. Si un seul élément de ce bilan change, celui-ci sera perturbé. La température de la surface terrestre sera modifiée et un nouvel équilibre sera établi (Hirsch, 2017).

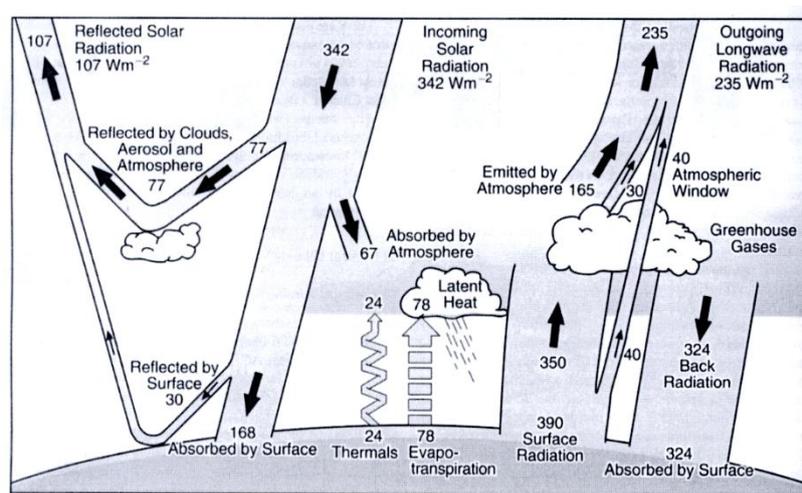


Figure 2 : Bilan énergétique global du système Terre. Source: Tison, 2018.

En milieux urbains, les propriétés de la surface du sol sont fortement modifiées générant ainsi des perturbations au niveau des échanges énergétiques entre l'atmosphère et la surface de la terre. Comme le montre la figure n°3, l'énergie incidente au sol urbain sera répartie d'une manière différente que dans les zones rurales et sera utilisée pour élever la température de l'air ce qui explique l'écart de températures entre les deux milieux.

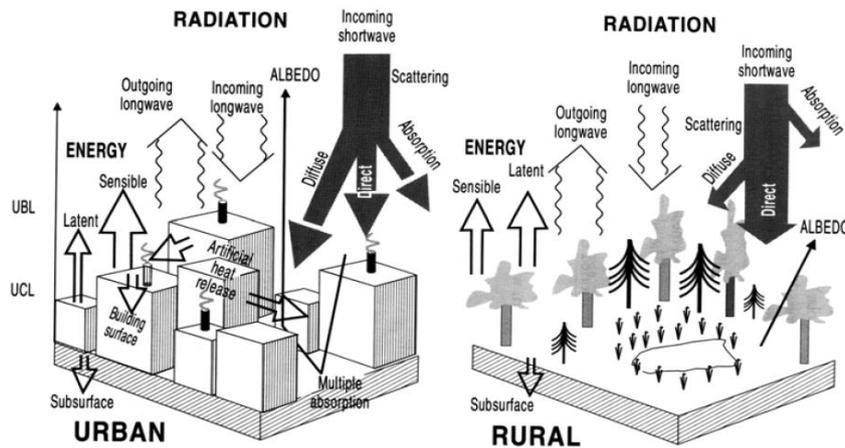


Figure 3 : Représentation schématique des différents flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale pour une journée avec un ciel dégagé. La largeur des flèches permet d'approcher l'importance des flux. Source : Colombert, 2008.

### 2.3.2 Modification de la répartition énergétique en ville et facteurs responsables

Dans cette partie nous allons présenter en quoi consistent les perturbations de la répartition énergétique au sein de la ville ainsi que les facteurs qui en sont responsables.

De nombreuses études utilisent une classification dans les facteurs influençant la formation et l'intensité de l'ICU. La classification la plus commune à savoir celle de Rizwan ainsi que celle de Givoni permet de distinguer deux types de facteurs responsables de la formation et de l'intensité de l'ICU. D'une part, il existe des facteurs naturels comme notamment les caractéristiques géographiques de la ville telles que la proximité ou non de la mer, la latitude ou le climat mais aussi la topographie, la saison, les conditions météorologiques de la journée, etc. Ces facteurs ne peuvent pas être modifiés par des interventions humaines et on peut de ce fait les qualifier de facteurs incontrôlables Colombert (2008).

D'autre part, on retrouve des facteurs qui sont dus à l'urbanisation sur lesquels les décideurs de la ville et les aménageurs peuvent agir pour atténuer l'effet de l'ICU qui y est lié d'où leur classification en facteurs contrôlables. Ces facteurs consistent principalement en l'imperméabilisation des sols, la diminution ou l'absence de la couverture végétale et de l'eau, les propriétés des matériaux de construction qui constituent la ville, la morphologie urbaine ainsi que les rejets de chaleur anthropique.

#### 2.3.2.1 Causes incontrôlables

Parmi les facteurs incontrôlables influençant la formation de l'ICU, on peut distinguer principalement les paramètres météorologiques. Ceux-ci évoluent selon le temps et dépendent donc du moment de la journée ou de l'année. Il s'agit notamment de la couverture nuageuse, le vent, etc. Une couverture nuageuse dense a tendance à augmenter l'effet de l'ICU nocturne en absorbant une partie du rayonnement infrarouge émis par les surfaces de la ville. Ce rayonnement absorbé est ensuite réémis vers la surface empêchant le refroidissement. Le vent est également un facteur important car il peut

totalemment dissiper l'ICU ou alors le renforcer lorsque la circulation de l'air est nulle notamment lors des événements de vagues de chaleur (Colombert, 2008).

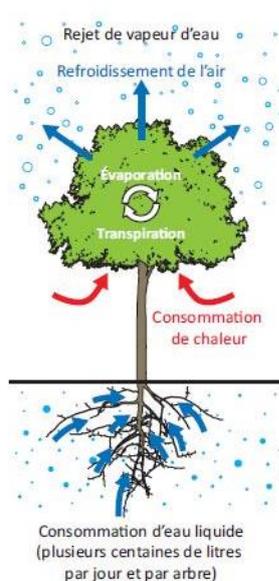
D'autres part, il existe des facteurs de l'ordre de la position spatiale (position géographique, topographie, etc.) de la ville qui influencent l'effet d'ICU. Selon Lauwaet (correspondance par e-mail, 30 Mars 2020), la température diminue d'environ 6,5°C par km de hauteur. De ce fait, une ville ou une partie de la ville implantée dans une zone topographique basse sera systématiquement un peu plus chaude que les zones situées à des altitudes plus élevées.

### 2.3.2.2 Causes contrôlables

#### 2.3.2.2.1 Imperméabilisation des sols et diminution de la couverture végétale

Une des conséquences de l'urbanisation est l'imperméabilisation des sols. En effet, la construction des villes implique une minéralisation d'une grande partie de leurs surfaces entraînant une diminution des surfaces d'infiltration d'eau dans le sol. Au lieu de s'infiltrer sur place, les eaux de pluies vont ruisseler et seront évacuées vers un exutoire à travers les canalisations. Outre le risque de saturation du réseau d'évacuation des eaux pluviales et par conséquent d'inondation que présente l'imperméabilisation des sols, celle-ci en diminuant la quantité d'eau disponible dans le sol implique une réduction du processus d'évaporation de l'eau responsable du rafraîchissement de l'air. Les surfaces imperméables, se desséchant ainsi rapidement, n'évaporent de l'eau que d'une manière ponctuelle notamment lors des épisodes de pluie (Bournez, 2018).

D'autre part, la minéralisation des surfaces urbaines se fait au détriment de la présence des végétaux en ville. Or, la végétation rafraîchit le climat urbain grâce au phénomène d'évapotranspiration et par la création d'ombre portée.



L'évapotranspiration concerne tous les types de végétaux. En transformant l'eau liquide à de la vapeur qui sera diffusée dans l'air ambiant lors des processus de photosynthèse ou de régulation thermique des tissus de la plante, les végétaux participent au rafraîchissement de leur environnement. (Atelier parisien d'urbanisme [Apur], 2012) (figure 4).

La diminution de l'évaporation et de l'évapotranspiration dans les milieux urbains par rapport aux milieux ruraux environnants implique une réduction du flux de chaleur latente dans les villes et par conséquent le réchauffement de l'air ambiant ce qui explique en partie les écarts de température entre les deux milieux.

Figure 4: Evapotranspiration par le végétal. Source: Apur, 2012.

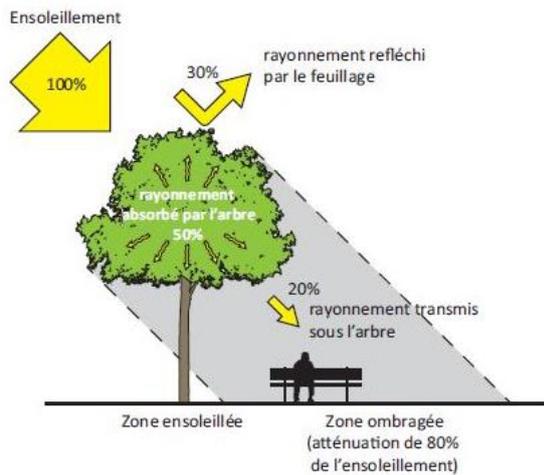


Figure 5: Création d'ombrage par l'arbre. Source: Apur, 2012.

Un autre aspect lié principalement aux arbres consiste en la création d'ombrage. L'ombre portée créée par les arbres réduit la quantité de rayonnement solaire arrivant jusqu'au sol et réduit donc le stockage et le flux de chaleur sensible responsable de la formation de l'ICU (Bournez, 2018). Comme le montre la figure n°5, seulement 20% de l'énergie solaire atteint le sol, le reste de l'énergie est en partie absorbé par l'arbre et en partie réfléchi vers l'atmosphère (Apur, 2012). L'intensité

de l'ombre dépend de la densité du feuillage variant selon l'espèce d'arbre. Ainsi plus le feuillage est

dense plus l'effet d'ombre fourni par l'arbre est important (Apur, 2012 ; Bournez 2018). Elle varie également en fonction de la taille et de la forme de l'arbre.

#### 2.3.2.2.2 Matériaux urbains

Les matériaux utilisés en milieu urbain provoquent des perturbations thermiques. Contrairement aux surfaces végétales, les matériaux urbains réagissent différemment par rapport à l'énergie qu'ils reçoivent. Ceux-ci possèdent en effet des propriétés impliquant le stockage d'une grande partie de l'énergie incidente conduisant à des modifications des flux de chaleur sensible, de chaleur dans le sol et de stockage qui vont se trouver plus importants en ville (Colombert, 2008 ; Apur, 2012).

Il s'agit d'une part de l'albédo. L'albédo représente l'énergie solaire réfléchi par rapport à l'énergie solaire reçue. D'une manière générale, l'albédo varie entre 0 et 1. Une surface dont l'albédo est proche de 0 est une surface foncée (proche du noir) et absorbe beaucoup plus d'énergie lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire et va donc s'échauffer et chauffer l'air qui lui est proche. Une surface à albédo proche de 1 est au contraire perçue comme blanche et va réfléchir l'énergie reçue et s'échauffer moins que les surfaces à faible albédo (Valette et Cordeau, 2010).

Comme le montre la figure n°6, les matériaux de la ville présentent des comportements différents par rapport à l'énergie qu'ils reçoivent. Par exemple l'asphalte fortement utilisé dans les voiries présente un albédo très faible (0.07). Ce type de revêtement absorbe plus d'énergie qu'il ne la réfléchisse et se chauffe donc plus vite quand il est exposé au rayonnement solaire.

Par conséquent l'air en contact de ces surfaces va être chauffé ce qui contribue à la formation d'ICU. Les matériaux ayant un albédo plus élevé comme les toitures blanches se chauffent moins rapidement lorsqu'elles sont exposées au soleil limitant ainsi le réchauffement de l'air environnant (Colombert, 2008).

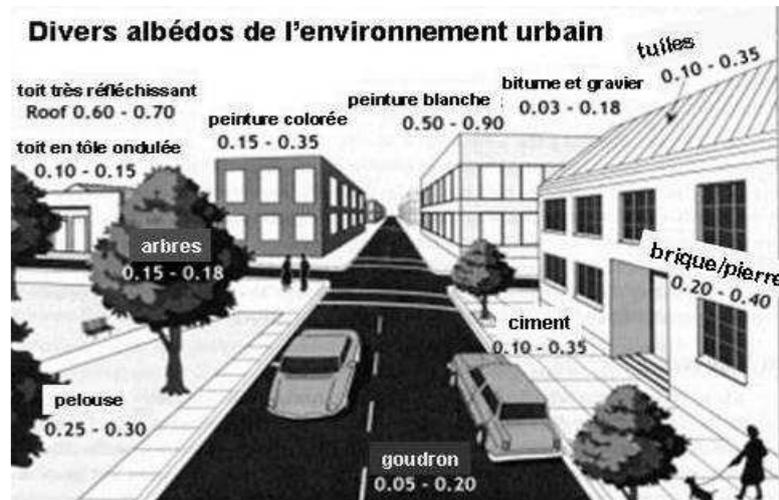


Figure 6 : L'albédo de l'environnement urbain. Source: Colombert, 2008.

D'autre part, l'inertie thermique consiste en la capacité d'un matériau à stocker l'énergie puis à la restituer. Les matériaux urbains ont une inertie thermique plus élevée que la terre. Un béton ordinaire présente une capacité thermique de 2400 à 2640 KJ/m<sup>3</sup>.°C, la terre sèche quant à elle a une capacité thermique de 1350 KJ/m<sup>3</sup>.°C (Valette et Cordeau, 2010).

Lorsqu'un matériau est exposé au soleil, il va stocker de la chaleur. Plus un matériau est lourd et épais, plus il est inerte. Cela veut dire qu'une fois chaud il va mettre beaucoup de temps pour se refroidir et va donc relâcher la chaleur emmagasinée durant la journée pendant la nuit. Ceci explique pourquoi l'ICU est un phénomène principalement nocturne (Valette et Cordeau, 2010).

Ainsi, la quantité d'énergie stockée dans les surfaces (sol ou bâtiments) est plus importante en ville qu'à la campagne.

### 2.3.2.2.3 Morphologie urbaine

La morphologie urbaine peut être définie comme la manière dont les bâtiments (pleins) et la volumétrie des espaces extérieurs qu'ils créent (vides) sont agencés. Elle concerne notamment la taille et la forme des bâtiments et des rues, leur orientation, etc. (Hirsch, 2017).

Une surface bâtie dense influence considérablement la quantité d'énergie absorbée par les bâtiments et contribue au réchauffement de la ville. En effet, les bâtiments de la ville, en fonction de leur implantation, pourraient constituer d'une part un obstacle par rapport à la circulation des vents en ralentissant leurs vitesses et en modifiant leurs directions. Lorsque le tissu urbain est dense, les rues étroites et les alignements des bâtiments forment ce que l'on appelle canyons urbains. Dans ces canyons,

la vitesse du vent est inférieure à celle du vent au niveau des toitures. Ainsi l'air ayant chauffé en contact des surfaces des revêtements et des bâtiments va stagner au niveau de ces canyons ne permettant pas à la chaleur de se disperser ce qui favorise l'apparition de l'ICU (Valette et al., 2010).

D'autre part, les bâtiments présentent un obstacle pour le rayonnement renvoyé vers l'atmosphère. En effet, l'effet canyon formé par les rues dans une zone de forte densité urbaine contribue au piégeage des rayonnements dans les espaces urbains (Valette et al., 2010). Au lieu d'être directement renvoyés vers l'atmosphère, ceux-ci sont projetés dans un premier temps sur une multitude de surfaces des sols et des façades des bâtiments qui vont absorber la chaleur et se chauffer ce qui favorise le réchauffement de l'air et par conséquent l'apparition de l'ICU.

Il existe plusieurs indicateurs qui caractérisent la morphologie urbaine et les conséquences radiatives et thermiques qui en découlent comme notamment le facteur de vue du ciel (SVF) et le ratio H/L (Vairet, 2016).

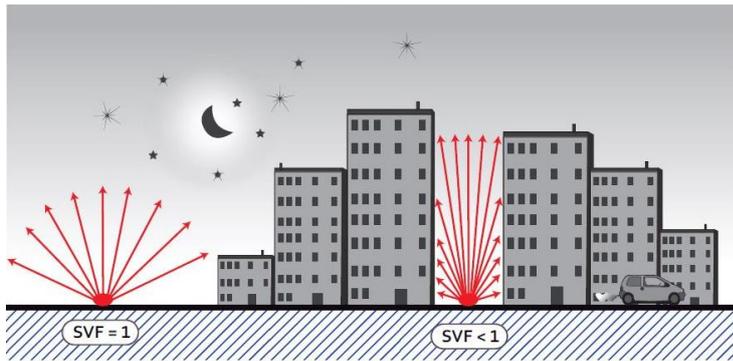


Figure 7 : Facteur de vue du ciel en zone urbaine et en zone rurale. Source: Apur, 2012.

Le facteur de vue du ciel permet d'évaluer le degré de refroidissement nocturne par échange radiatif avec l'atmosphère. Il correspond à la partie du ciel que l'on peut observer à partir d'une surface donnée.

Comme on peut voir dans la figure n°7, une surface plane ne présentant pas d'obstacle comme notamment en zone rurale, le refroidissement est maximal. Le facteur de vue du ciel est dans ce cas égal à 1. En revanche, en ville ce refroidissement est contraint par la présence des bâtiments. Le facteur de vue du ciel varie alors entre 0 et 1 (Colombert, 2008 ; Apur, 2012).

La morphologie urbaine agit différemment sur l'ICU selon le jour ou la nuit. Dans les zones urbaines où le SVF est élevé, la température de l'air est plus élevée pendant la journée. Cela s'explique par le fait qu'en milieu urbain ouvert, une plus grande quantité de rayonnement incident arrive jusqu'aux surfaces des bâtiments et des sols que dans un milieu fermé. Dans les zones à faible SVF, les bâtiments sont plus élevés et projettent plus d'ombre. En revanche, la nuit la température diminue avec un SVF élevé. Cela signifie qu'une forte densité de construction pourrait réduire la température de l'air dans la journée et l'augmenter la nuit (Wang et Akbari, 2016). De plus, dans les milieux ouverts avec un SVF élevé, la vitesse du vent est plus élevée et assure la ventilation du milieu en réduisant l'effet des rejets de chaleur des bâtiments.

Par ailleurs, selon de nombreuses études, le ratio H/L (Hauteur/Largeur) est considéré comme étant l'entité de « base » d'une unité urbaine. Selon Vairet (2016), le climatologue Oke définit le ratio H/L comme étant le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments d'une rue vis-à-vis de sa largeur. Le ratio H/L moyen permet de caractériser l'ensoleillement, la lumière disponible et les effets d'ombrage au sein d'un tissu hétérogène donné.

#### 2.3.2.2.4 *Chaleur d'origine anthropique*

Un autre aspect non négligeable influençant l'apparition d'ICU consiste en l'apport de chaleur d'origine anthropique. En plus du rayonnement solaire incident, des apports énergétiques supplémentaires générés par les activités humaines ont lieu dans les villes contribuant à l'intensification de l'ICU. Celles-ci, en plus d'émettre du CO<sub>2</sub> contribuant au réchauffement global, dégagent de la chaleur qui participe au réchauffement local. Il s'agit des activités liées au chauffage, à la climatisation, à la circulation automobile à moteur à combustion, à l'activité industrielle, etc. qui sont plus importantes dans les villes en raison de leur forte concentration en habitants et en activités économiques, récréatives, de logements, etc. Les rejets de chaleur anthropique varient en fonction de la saison et de l'heure de la journée. Ils varient également en fonction du climat de la ville (Colombert, 2008 ; Bournez, 2018 ; Valette et al., 2010).

La compréhension des différents facteurs responsables des perturbations des flux énergétiques en ville permettent ainsi aux décideurs d'envisager des solutions d'atténuation de ce phénomène (Bournez, 2018).

## 2.4 Mesures de lutttes

Plusieurs leviers d'actions peuvent être envisagées par les villes afin d'atténuer l'ICU. Il s'agit notamment de la végétalisation, du renforcement de la présence de l'eau dans le sol et en surface (perméabilisation des sols, plans d'eau etc.), de l'emploi de revêtements et de matériaux ne retenant pas la chaleur, de la morphologie urbaine ainsi que de l'atténuation des émissions de chaleur anthropique.

### 2.4.1 Végétalisation

Nombreuses sont les études ayant affirmé l'introduction de la végétation en ville comme un moyen efficace et prometteur pour rafraîchir les villes en soulignant la corrélation entre l'augmentation de celle-ci et la réduction des températures locales (Susca et al, 2011). Cette solution, étant généralement peu coûteuse et facile à appliquer, offre en plus de l'aspect rafraîchissant du microclimat urbain de nombreux services écosystémiques : sociétaux, environnementaux et économiques (Bournez, 2018).

La végétation peut être introduite en milieu urbain sous diverses formes comme notamment les parcs urbains. Ceux-ci sont généralement plus frais que les espaces construits environnants. Des études

d'observation ont démontré une différence de température, entre ces deux milieux, variant entre 1 et 7°C (Lauwaet et al., 2020).

Des parcs urbains de grande taille et possédant une couverture végétale abondante ont généralement un effet de refroidissement plus important. Ainsi, les parcs arborés apportent bien plus de fraîcheur que des espaces à végétation rase. L'intensité de refroidissement des parcs urbains est également très souvent plus élevée durant les nuits. Durant les après-midis, les parcs urbains ayant une large couverture arborée sont plus frais à cause de leur effet d'ombrage tandis que les nuits les parcs urbains ouverts sont plus frais en raison d'une meilleure réflexion du rayonnement de grande longueur d'onde (Lauwaet et al., 2020). Les espaces arborés peuvent être reliés entre eux par des alignements d'arbres afin d'optimiser la circulation du vent en milieu urbain (Wang et Akbari, 2016).

Une autre manière de végétaliser les villes consiste en l'intégration de la végétation au niveau des toitures ou les façades des bâtiments. Selon Susca et al. (2011), la part des toitures de la surface urbaine totale est de l'ordre de 20 à 25%. Ce constat n'est pas négligeable dans le cas où la majorité de ces toits initialement minéralisés et sombres sont plats. Une étude réalisée à Toronto montre qu'en végétalisant 6% des toitures du centre-ville la température urbaine pourrait diminuer d'un à deux degrés (RIE RRU, 2018). La végétalisation des toitures contribue à la réduction de l'effet d'ICU en augmentant l'albédo de leurs surfaces. D'autre part, la diminution de la température moyenne de l'air se fait grâce à l'évapotranspiration et l'ombre des arbustes ou des arbres plantés en toiture. Une étude sur l'évaluation des effets des toitures vertes sur la réduction des ICU selon leurs types a été menée par Konasova (2017). Cette étude montre que les toitures vertes intensives sont plus efficaces que les toitures vertes extensives dans la réduction de l'ICU. Ceci s'explique par le fait que les toitures vertes intensives fournissent plus d'ombre (arbres et arbustes) et d'évapotranspiration par la végétation plus abondante qu'elle comporte en raison d'une épaisseur de substrat et d'une rétention d'eau plus importantes. Néanmoins, les toitures existantes sont généralement plus favorables au type de toiture extensive. Leurs structures porteuses ne sont pas toujours adaptées pour les toitures intensives et ne peuvent supporter leurs poids. En effet, les toitures extensives ont une épaisseur de substrat comprise entre 5 et 12 cm. Celles des toitures intensives sont en revanche supérieures à 12cm (Susca. et al., 2011).

De plus, les toits verts améliorent l'isolation des bâtiments réduisant ainsi la consommation d'énergie et les pertes thermiques des bâtiments provenant du chauffage et de la climatisation (Konasova, 2017).

De nombreux autres effets avantageux sont également liés à la présence de toitures végétalisées à l'échelle de la ville tels que l'amélioration de la qualité de l'air, la gestion des eaux pluviales, l'amélioration de la biodiversité en ville, la création d'équipements urbains (potagers, horeca, etc.)

#### 2.4.2 Renforcer l'infiltration des eaux et leur présence en surface

Une autre manière de lutter contre l'ICU est de renforcer la présence de l'élément eau en ville à travers notamment les projets de réaménagements urbains. Le rafraîchissement de la ville par l'eau se fait d'une part par évaporation de celle-ci permettant ainsi de rafraîchir l'air ambiant et d'autre part à travers sa capacité d'absorption du rayonnement notamment lorsqu'il s'agit de plans d'eau suffisamment profonds (Bournez, 2018). Selon une étude de Lauwaet (2020), les effets de refroidissement des surfaces d'eau en milieu urbain présentent une variation journalière. Ces effets sont plus efficaces pendant la journée pouvant atteindre jusqu'à 2°C. En revanche, ces effets sont beaucoup plus faibles pendant la nuit. Ceci s'explique par le fait que les masses d'eau maintiennent des températures élevées la nuit en raison de leur capacité thermique élevée. Par ailleurs, l'effet de l'eau est plus efficace en présence de vent pouvant se faire ressentir à des dizaines de mètres plus loin (Bournez, 2018).

L'eau peut être intégrée notamment dans les espaces minéralisés fortement exposés à la chaleur sous forme de jets ou de miroirs d'eau, de fontaines, etc. Ces éléments offrent également d'autres avantages notamment pour les activités ludiques et récréatives en ville.

Une autre manière de favoriser la présence de l'eau en ville consiste en l'utilisation de revêtements perméables ou semi-perméables. Ceci permet l'infiltration d'une partie des eaux pluviales limitant ainsi leur ruissellement et par conséquent l'assèchement du sol.

L'eau peut également se présenter sous une forme 'naturelle' en ville à travers l'aménagement de dispositifs de gestion intégrée des eaux pluviales comme les dépressions enherbées, les noues végétalisées le long des rues, les cours d'eau existants ou remis à ciel ouverts, etc. A côté de leur rôle thermorégulateur, ceux-ci en retenant les eaux de pluie, permettent soit de les infiltrer sur place soit de les tamponner afin d'éviter la saturation des égouts et d'éviter par conséquent les inondations. Par ailleurs, ils constituent également un support de biodiversité en ville.

#### 2.4.3 Les matériaux

Une autre solution peut être envisagée dans la lutte contre l'ICU. Il s'agit de favoriser l'emploi de revêtements pour les surfaces urbaines à forte réflectivité et à faible capacité thermique afin de réduire l'absorption et le stockage de l'énergie solaire pendant la journée (Wang et Akbari, 2016).

#### 2.4.4 La morphologie urbaine

En ce qui concerne l'action sur la morphologie urbaine, le fait que le champ d'action sur le tissu bâti existant soit limité, une attention particulière doit être accordée aux nouveaux projets de développements urbains en privilégiant le maintien d'espaces ouverts adaptés. On a pu voir précédemment qu'un espace urbain ouvert possédant un SVF élevé agit négativement sur l'ICU nocturne. La forte exposition de ces espaces au rayonnement solaire pendant la journée peut être alors améliorée en y créant par exemple des parcs ou des places arborées ainsi que des points d'eau, etc.

Plusieurs critères peuvent être considérés dans les projets de développement urbains permettant de contrôler la densité urbaine. Il s'agit notamment de la densité, la hauteur, l'espacement et l'orientation des bâtiments (Bournez, 2018). Des indicateurs comme le SVF et le ratio H/L vus précédemment se révèlent alors comme étant importants lors de ces processus.

#### 2.4.5 Chaleur anthropique

Afin de réduire la chaleur anthropique en ville, des actions peuvent être menées sur le bâti comme l'isolation thermique qui, combinée à des dispositifs de protections solaires (stores, persiennes, pergolas) ou des systèmes de ventilation naturelle, devrait assurer un confort thermique aussi bien l'hiver que l'été et permet ainsi de limiter le recours au chauffage mais surtout d'éviter un recours à la climatisation active qui joue à l'encontre de la lutte contre l'ICU.

L'autre solution consiste en la réduction de la circulation automobile à moteur à combustion en ville, celle-ci génère à la fois un réchauffement mais aussi une pollution de l'atmosphère (Bournez, 2018). Il s'agit alors de promouvoir les modes de déplacement doux en augmentant le réseau et le confort des pistes cyclables et des trottoirs.

### 2.5 Impacts et enjeux

Les impacts de l'ICU sont nombreux et touchent à plusieurs secteurs comme la santé (diminution du confort thermique, augmentation de la mortalité et la morbidité), l'énergie, la productivité au travail, etc. générant ainsi des dommages et des coûts qui peuvent être très élevés.

#### 2.5.1 Santé

Comme mentionné précédemment, l'ICU atteint son maximum durant la nuit. Or, durant les vagues de chaleur, une diminution nocturne de la température est essentielle pour permettre à l'organisme humain de récupérer des fortes chaleurs de la journée. La présence d'ICU ne permet pas cette récupération. La présence simultanée du phénomène l'ICU et d'événement de vagues de chaleur provoque un inconfort thermique ayant comme effet des faiblesses, des troubles de la conscience, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur ainsi qu'une exacerbation des conditions physiques existantes telles que le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales. Les effets d'ICU peuvent être graves et peuvent entraîner la mort (Filiatreault, 2015).

Selon De Ridder et al. (2020), les vagues de chaleur dans la majorité des zones à climat tempéré, causent plus de victimes que toute autre catastrophe climatique. L'événement de vague de chaleur survenu lors de l'été de l'année 2003 en Europe a provoqué plus de 70.000 décès liés à la chaleur (Filiatreault, 2015). En Europe de l'Ouest, on a pu enregistrer 35.000 décès (Wang et al, 2015). Cette surmortalité a été estimée à 15.000 décès en France dont 1.150 dans Paris et entre 1.200 et 2.000 décès en Belgique (De Ridder et al., 2020). A la suite de cet événement, de nombreuses études ont démontré la présence d'une

part d'une synergie entre l'ICU et les vagues de chaleur (Hamdi et al. 2016) et d'autre part d'un lien entre la mortalité et les vagues de chaleur en ville (Hamdi.R., correspondance par vidéoconférence, 3 Avril 2020).

Avec le changement climatique, il est prévu une augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des événements de vagues de chaleur dans le monde entier, y compris dans les pays communément considérés comme froids (Wang et al., 2015). De nombreuses études ont été menées sur l'impact de la hausse des températures sur la santé humaine dans des pays du Nord. Selon Doick et al. (2014), au Royaume-Uni, la mortalité liée à la chaleur était responsable d'environ 2.000 décès prématurés en 2014. Avec le changement climatique et l'augmentation des événements de vagues de chaleur, la mortalité liée à la chaleur devrait passer à 3.400 décès prématurés dans les années 2020 et à environ 10.800 décès prématurés dans les années 2080. En Belgique, les projections futures de surmortalité estiment environ 1.900 décès supplémentaires par an à la fin du siècle selon le scénario RCP 8.5, à savoir une surmortalité annuelle d'une ampleur au moins similaire à celle de 2003, en moyenne. Les données de surveillance nationales montrent que Bruxelles présente une surmortalité relative (par habitant) plus élevée que les Régions flamande et wallonne (De Ridder et al., 2020).

Selon Wang et al. (2015), Health Canada a signalé que dans les sept plus grandes villes canadiennes, chaque degré d'augmentation de la température par rapport à la température moyenne quotidienne de 20°C augmente le taux de mortalité lié à la chaleur de 2,3%. De même, toujours selon Wang et al. (2015), une étude menée aux Pays-Bas a également démontré l'impact de la température ambiante sur la mortalité pendant la période 1979-1997. Pour chaque degré d'augmentation de la température de l'air au-dessus de l'optimum, la mortalité totale a augmenté de 2,72%. Par ailleurs, des chercheurs suédois ont démontré qu'une moyenne de température au-dessus de 23°C pendant plus de deux jours consécutifs avait un impact sur le taux de mortalité dans leur pays (Terrin, 2015).

D'autres effets sur la santé sont dus à la combinaison de l'ICU et de la pollution de l'air. En effet, l'élévation de la température en milieu urbain contribue à une hausse de la concentration de l'air en polluants. Les composés organiques volatils (COV) par exemple proviennent des activités industrielles urbaines mais aussi des matériaux urbains comme le béton bitumineux lorsqu'il est chauffé par le rayonnement solaire (Filiareault, 2015). De plus, la hausse de température en milieu urbain favorise des réactions chimiques des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et des COV en ozone (O<sub>3</sub>). Une forte concentration en ozone affecte la santé en augmentant les problèmes sanitaires respiratoires et d'asthme (Rovers, 2016). De plus, l'ozone est l'un des principaux composants du smog urbain (Wang et al., 2015). Selon Filiareault (2015), un épisode de smog peut être responsable d'une augmentation du taux de mortalité chez la population la plus vulnérable. Ce taux de mortalité est d'environ 6%.

### 2.5.2 Hausse de la consommation en énergie et en eau

La combinaison d'ICU et de vagues de chaleur qui seront plus fréquentes avec le changement climatique pourrait entraîner une augmentation du recours à la climatisation active en été et par conséquent une hausse de la consommation en énergie. Cette hausse de consommation entraînera des pics de consommation et une pression sur les infrastructures de production, de transmission et de distribution d'électricité pouvant mener jusqu'à une rupture en électricité (Wang et Akbari, 2016). Cette problématique ne se limite pas aux pays du Sud. Avec le changement climatique, le besoin de climatisation devient généralisé y compris dans les pays du Nord. Selon Wang et Akbari (2016), au Canada, les pics de consommation électrique ont augmenté entre 1994 et 2002 et la proportion des ménages québécois disposant d'un climatiseur domestique est passée de 15,2% à 36,4% entre 1993 et 2005. Toujours selon Wang et Akbari (2016), lors de la canicule de l'été 2003, la forte demande en électricité avait provoqué une panne transfrontalière qui a paralysé les activités de Toronto pendant près de trois jours. Cependant, la charge de chauffage en hiver est susceptible d'être réduite en raison de l'effet de l'ICU (Rovers, 2016). D'autre part, il ne faut pas ignorer la rétroaction positive que pourrait avoir le recours à la climatisation active, à savoir les émissions des GES pouvant renforcer le réchauffement global.

Les hausses des températures en été contribuent également à une augmentation de la consommation d'eau nécessaire pour se rafraîchir et s'hydrater (Filiareault, 2015).

### 2.5.3 Renforcement des inégalités sociales

Selon De Ridder et al. (2020), il existe une relation entre vulnérabilité socio-spatiale et impacts climatiques. En effet, la problématique d'ICU affecte principalement les personnes vulnérables, telles que celles souffrant de maladies, de faibles revenus, d'isolement social, d'un manque de mobilité, d'un logement inadéquat, etc. Ce groupe social se répartit d'une manière générale sur des territoires denses de la ville qui sont déjà affectés par une chaleur estivale plus importante. Ceci est notamment le cas pour de nombreuses villes belges comme mentionnée par De Ridder et al. (2020). Pour la ville de Gand par exemple, la distribution spatiale du nombre de personnes ayant une allocation de revenu de base correspond très fortement aux zones présentant des paramètres de stress thermique.

A Bruxelles, les habitants du centre-ville sont également plus vulnérables<sup>3</sup> en période de canicules car c'est là où l'ICU est le plus prononcé mais aussi en raison du déficit d'espaces verts<sup>4</sup> et d'une qualité moindre des habitations d'une manière générale (RIE RRU, 2018).

Toujours selon De Ridder et al. (2020), « *en Belgique, les personnes qui appartiennent à la tranche de 20% des revenus les plus bas sont 1,5 à 2 fois plus susceptibles de vivre dans une maison inconfortablement chaude que celles qui appartiennent aux autres catégories de revenus* ».

---

<sup>3</sup> Annexes 3, 4

<sup>4</sup> Annexe 5

La combinaison d'ICU avec des vagues de chaleurs qui seront plus fréquentes, plus nombreuses et plus intenses aura pour effet un renforcement des inégalités sociales entre ceux qui seront et ceux qui ne seront pas en mesure d'atténuer cet effet notamment par l'accès à des sources de refroidissement, l'adaptation et la rénovation du bâtiment, le déplacement vers une seconde résidence, etc.

### 3. Ilot de chaleur urbain à Bruxelles

#### 3.1 Etat des lieux (mesure et répartition spatio-temporelle)

Afin de mieux comprendre le climat urbain à Bruxelles et ses interactions avec le changement climatique, des modélisations récentes de l'ICU en RBC ont été réalisées par des chercheurs en climatologie urbaine notamment de l'Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM) et de l'Institut flamand de recherche technologique (VITO).

L'étude de Hamdi et al. (2016), sur l'évolution de l'intensité de l'ICU en RBC, a permis de mesurer et de déterminer la répartition spatiale de l'ICU moyen pendant la journée et la nuit et ce, durant les conditions climatiques normales ainsi que pendant les événements de vagues de chaleur. Pour mener cette étude, une technique de réduction d'échelle dynamique urbaine à une résolution de 1 km a été appliquée sur la RBC (figure 8).

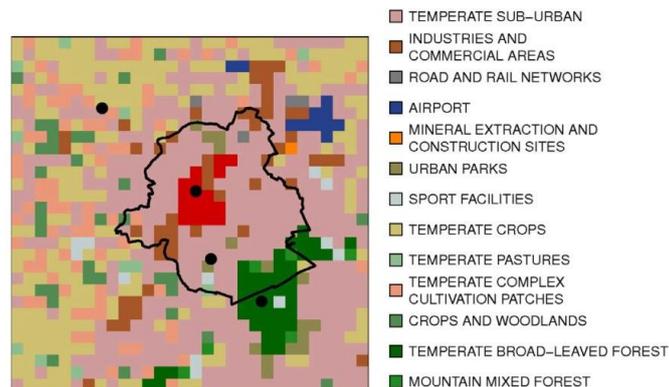


Figure 8 : Carte d'occupation du sol de la RBC selon la technique de réduction d'échelle dynamique urbaine à une résolution de 1km. Source: Hamdi et al.(2016).

Les mesures des températures à partir desquelles ont été élaborées ces simulations ont été enregistrées à partir de trois stations météorologiques sur une période de 30 ans entre 1981 et 2010. Ces trois stations sont implantées respectivement dans la zone dense de Molenbeek, à Uccle au sud du centre de Bruxelles ainsi que dans la zone rurale de Brussegem au nord-ouest de Bruxelles.

Du point de vue de la distribution spatiale de l'ICU, l'étude (figure 9) montre que tant l'ICU du jour (UHI\_D) que celui de la nuit (UHI\_N) enregistrent des valeurs plus élevées dans le centre-ville (zone dense). Celles-ci diminuent progressivement vers la périphérie. Cette diminution est plus prononcée la nuit dans le sud-est de la RBC au niveau de la forêt de Soignes.

Par ailleurs, l'étude montre que l'ICU nocturne (UHI\_N) est plus élevé lors des vagues de chaleur que lors des conditions climatiques normales. Pour la station de Molenbeek, il s'agit d'une augmentation de 1,7°C à 2,5°C. Lors des vagues de chaleur, l'ICU s'étend sur une plus grande partie du territoire du centre, plus particulièrement le long du canal.

Les résultats de ces modélisations sont en cohérence avec de nombreuses autres études puisque d'une manière générale, ils montrent que l'ICU est plus intense la nuit que durant la journée. La même étude confirme l'existence d'une interaction synergique entre l'ICU et les vagues de chaleur.

Les modèles montrent également que pour la station de Molenbeek, l'ICU moyen du jour varie entre 0,6°C et 0,7°C, tandis que l'ICU nocturne moyen varie entre 1,7°C et 2,5°C.

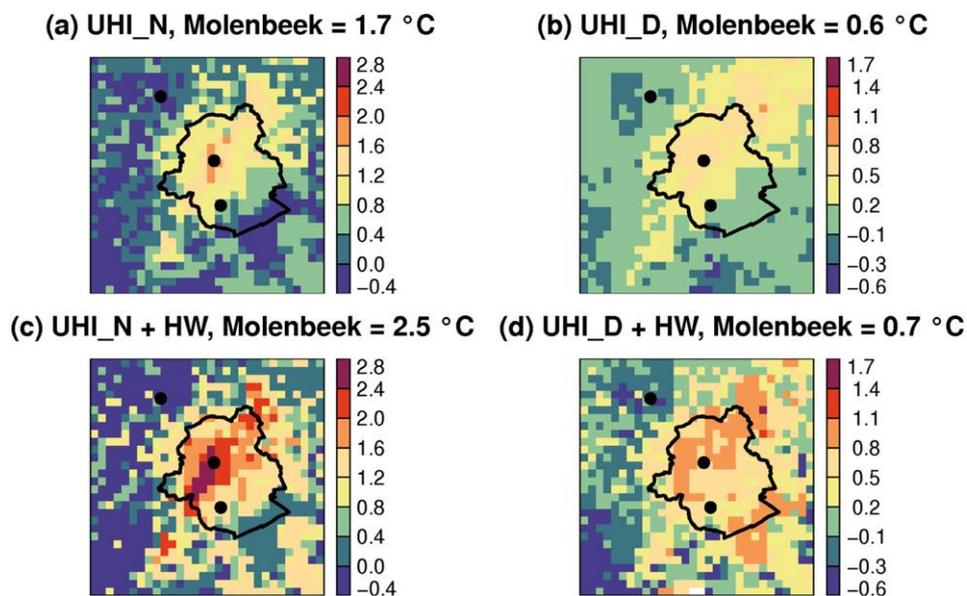


Figure 9 : Répartition spatiale de l'ICU moyen sur 30 ans (1981-2010) pour la RBC pendant la nuit (UHI\_N = a, c) et le jour (UHI\_D = b, d). Source: Hamdi et al.(2016).

Par ailleurs, Hamdi et al. (2016) mentionnent dans leur même étude que la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de chaleur est plus importante dans les zones urbaines les plus denses et que celles-ci augmentent avec le degré d'urbanisation.

Une autre étude de l'évaluation de l'ICU actuel et futur du territoire bruxellois a été réalisée par Lauwaet et al. (2015). Celle-ci a permis de mesurer l'intensité moyenne de l'ICU nocturne de Bruxelles. Cette mesure de 3,15°C a été calculée sur base des enregistrements des températures nocturnes d'été (de Juin à Aout) de la période 2000-2009.

Selon Lauwaet et al. (2015), cette valeur est légèrement supérieure à celle mesurée par les chercheurs de l'IRM où l'intensité moyenne de l'ICU urbain nocturne de Bruxelles équivaut à 2,54°C. Lauwaet et al. (2015) expliquent cette différence par le fait que les modélisations de l'IRM se basent sur des

températures minimales de la nuit, qui se produisent juste avant le matin lorsque l'ICU a déjà atteint son effet maximal. En revanche, les modélisations de Lauwaet et al. (2015) se basent sur des températures nocturnes enregistrées à minuit lorsque l'ICU est le plus intense. Toujours selon Lauwaet et al. (2015), la différence peut également être en partie associée à une plus grande résolution utilisée dans leur modèle (250 m) induisant des résultats plus réalistes et des valeurs de températures plus extrêmes que ceux obtenus avec une résolution plus grossière de 1km.

### 3.2 Facteurs influençant l'ICU bruxellois

Selon Lauwaet.D (correspondance par e-mail, 30 Mars 2020), plusieurs facteurs sont responsables de la formation et de l'intensité élevée de l'ICU dans le centre-ville de Bruxelles et de son extension le long du canal lors des événements de vagues de chaleur. D'abord, il s'agit de la zone topographique la plus basse de Bruxelles, ce qui la rendra automatiquement un peu plus chaude que les zones situées à des altitudes plus élevées.

Selon Lauwaet.D (correspondance par e-mail, 30 Mars 2020), la position centrale du centre-ville et de la zone du canal fait en sorte que l'air qui y arrive est déjà réchauffé par les autres régions de Bruxelles. Un autre élément important influençant la présence d'ICU dans cette zone consiste en l'occupation du sol. En effet, la zone située le long du canal est majoritairement industrielle où le pourcentage de surfaces imperméables est très élevé. La forte présence de revêtements de béton et d'asphalte dans cette zone implique une augmentation du flux de stockage de chaleur la journée lorsqu'ils sont exposés aux rayonnements solaires. Ceux-ci se réchauffent en stockant une grande quantité de chaleur pendant la journée et la libèrent dans l'atmosphère pendant la nuit. La présence industrielle est également source de chaleur anthropique. Ensuite, il y a très peu d'espaces verts dans cette zone. Selon l'étude de Hamdi et al. (2016), lors d'un événement de vague de chaleur, les mesures de la station de Molenbeek indiquent un déficit de l'humidité relative résultant de températures plus élevées et d'un faible flux de chaleur latente en raison de la faible présence de la végétation et de la forte densité urbaine.

Selon Lauwaet. D (correspondance par e-mail, 30 Mars 2020), bien que l'élément eau soit présent le long du canal, les mesures et les modélisations montrent que l'effet de celui-ci est limité à son environnement local (quelques mètres seulement). D'autre part, le modèle utilisé dans l'étude de Hamdi et al. (2016), ne prend pas en compte la présence de l'élément eau le long du canal (20 à 40 m de large). Ceci est dû à la résolution de 1 km qui est utilisée dans la modélisation.

Par ailleurs, Lauwaet et al. (2015) démontrent dans leur étude l'importance de l'influence de la direction des vents sur l'intensité de l'ICU. Dans des conditions climatiques « normales », les vents proviennent vers la RBC suivant la direction des vents dominants en Belgique, le Sud-Ouest dans la même direction du canal. Lorsque le vent provient de l'Ouest, en ayant parcouru la mer, il apporte de l'air humide, des nuages et des précipitations à l'intérieur des terres, ce qui entraîne des conditions moins favorables pour

le développement de l'ICU. Ceci explique que lors des conditions climatiques « normales » avec des vents dominants provenant de l'Ouest, les intensités moyennes de l'ICU sont les plus faibles. En revanche, lors des événements de vagues de chaleur, les vents sont très faibles voire absents et même s'ils existent, ceux-ci proviennent d'autres directions d'est, du sud-est et du sud. L'étude de Lauwaet et al. (2015) précise qu'avec un vent d'est, qui ne se produit que 25% du temps, l'ICU atteint des valeurs moyennes autour de 4°C en RBC en raison de conditions météorologiques principalement sèches et sans nuages. Durant les événements de vague de chaleur, la ventilation naturelle assurée par les vents dominants provenant du sud-ouest n'est donc pas efficace.

Comme nous venons de le parcourir, il existe plusieurs facteurs responsables de la distribution spatiale de l'ICU en RBC. Néanmoins, il est important de mentionner qu'il est difficile à ce stade d'identifier clairement l'élément dominant influençant le phénomène d'ICU bruxellois. A titre d'exemple, le paramètre de la topographie n'est pas pris directement en compte dans l'étude de Hamdi et al. (2016) (Hamdi.R, correspondance par vidéoconférence, 3 avril 2020).

### 3.3 Projections futures de l'ICU et des vagues de chaleur

Des simulations de projections futures de l'ICU en RBC ont également été réalisées récemment par les chercheurs de l'IRM et du VITO.

Lauwaet et al. (2015) ont réalisé des simulations de l'ICU moyen sur base des deux scénarios Representative Concentration Pathway (RCP) 4,5 et 8,5 pour le futur climat (2060-2069). Les résultats de leurs simulations montrent que la plupart des paramètres météorologiques présentent des changements qui devraient favoriser la formation de l'ICU à Bruxelles dans le futur comme notamment la température, la température maximale et la vitesse du vent. Toutefois, les résultats montrent aussi que l'ICU moyen du territoire bruxellois ne devrait pas augmenter. En effet, l'ICU moyen calculé sur la période de 10 ans n'a pas changé ou a légèrement diminué pour les scénarios respectifs RCP 4.5 et 8.5 utilisés dans l'étude. Selon Lauwaet et al. (2015), il y a une légère augmentation du rayonnement entrant de grande longueur d'onde. Cette augmentation semble avoir des effets différents en milieu urbain et rural avec une augmentation de température plus élevée constatée en milieu rural.

Néanmoins, il est important de noter que ces résultats ne prennent pas en considération une potentielle croissance urbaine dans le futur qui favoriserait l'augmentation de l'ICU (Lauwaet et al., 2015).

Selon Lauwaet et al. (2015), une étude réalisée par les chercheurs de l'IRM sur l'évaluation de l'ICU bruxellois pour la fin du siècle selon le scénario A1B indique également une tendance de l'ICU nocturne en RBC à diminuer. Cette diminution est mesurée à 0.36°C. Toutefois, cette étude associe cette diminution à une forte réduction des quantités de précipitations estivales d'ici la fin du siècle, ce qui

entraînerait une forte diminution de l'évaporation de la végétation et des sols dans les zones rurales et donc une hausse des températures rurales (Lauwaet et al., 2015).

Dans l'ensemble, ces résultats sont conformes à la tendance générale d'évolution de l'intensité de l'ICU dans de nombreuses autres villes. Lauwaet et al. (2015) mentionnent les résultats de certaines études sur l'effet de plusieurs scénarios de GES sur les intensités de l'ICU urbain d'ici la fin du siècle à échelle mondiale. Ceux-ci montrent que les changements dans les valeurs de l'ICU sont très faibles en raison du réchauffement des zones rurales. Pour les villes du Royaume-Uni, les valeurs d'ICU sont plutôt constantes dans des conditions de changement climatique tandis que pour l'ICU de Paris, il y a une diminution relativement forte (-1 °C).

Les projections étudiées de l'ICU bruxellois ne montrent pas son accentuation dans le futur. Il faut néanmoins noter que la définition même d'ICU (comme différence de températures entre milieux urbain et rural) pourrait conduire à des mauvaises interprétations de ses résultats. La hausse des températures en milieu rural est la raison du faible changement de l'ICU bruxellois. Le confort thermique sera néanmoins aggravé en raison d'une exposition croissante de la ville à des températures extrêmes liées au changement climatique. Selon Hamdi.R (correspondance par vidéoconférence, 3 avril 2020), en milieu urbain, lors d'un épisode de vague de chaleur de 4°C, cette température sera additionnée à celle de l'ICU. A Bruxelles, celle-ci pourrait atteindre les 7°C en raison.

Une analyse de l'évolution du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur<sup>5</sup> à Uccle pour la période 1892-2019 a été réalisée par l'IRM. Celle-ci est décrite dans son rapport intitulé 'Rapport Climatique 2020 – De l'information aux services climatiques'.

L'analyse de l'évolution de la fréquence des vagues de chaleur à Uccle montre une augmentation significative de ce paramètre depuis 1981, avec une hausse moyenne de +0,3 vague de chaleur par décennie. Elle montre également que celles-ci deviennent plus fréquentes ces dernières années. En effet, « *il y eut au moins une vague de chaleur chaque année au cours des 5 dernières années (2015-2019). C'est la première fois que cela se produit depuis 1892* » (IRM, 2020) (figure 10).

---

<sup>5</sup> L'IRM présente la définition de vague de chaleur comme suit : « *une période d'au moins cinq jours consécutifs au cours de laquelle les deux critères suivants sont vérifiés simultanément :*

- *La température maximale atteint ou dépasse 25°C chaque jour,*
- *La température maximale atteint ou dépasse 30°C au moins à trois reprises durant la période considérée. » (IRM, Rapport climatique 2020 – De l'information aux services climatiques, p.9)*

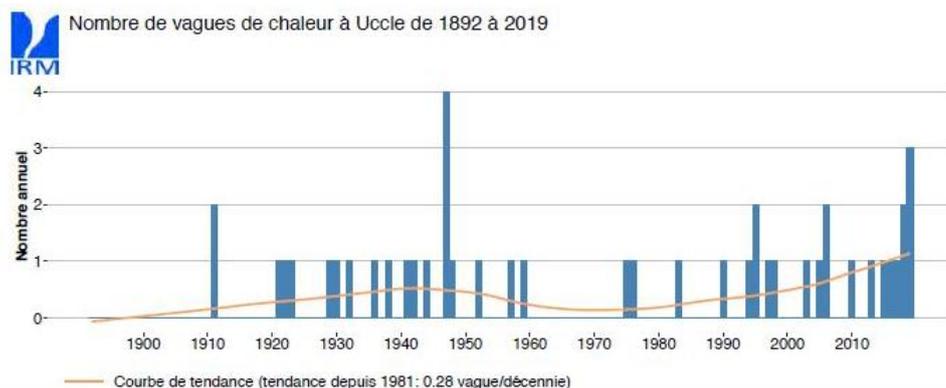


Figure 10 : Evolution du nombre annuel de vagues de chaleur à Uccle, sur la période 1892-2019. La valeur moyenne du paramètre sur la période est 0,34. Source : IRM, 2020.

La même étude montre également une hausse importante de la durée annuelle des vagues de chaleur depuis 1981, notamment avec une augmentation moyenne de +2 jours par décennie. Les durées élevées enregistrées en 2018 et 2019 font partie de cette tendance.

D'autre part, l'analyse de l'évolution de l'intensité maximale annuelle des vagues de chaleur montre également une tendance positive de ce paramètre depuis 1981, avec une augmentation moyenne de 1°C/jour par décennie. Selon l'IRM (2020), la valeur maximale de cette intensité date de 2019 et est liée à la courte vague de chaleur durant 5 jours (entre le 22 et le 26 juillet) au cours de laquelle les températures maximales ont à deux reprises dépassées 35°C. C'est lors de cette vague de chaleur remarquable qu'un nouveau record de la température maximale a été établi à Uccle (figure 11).

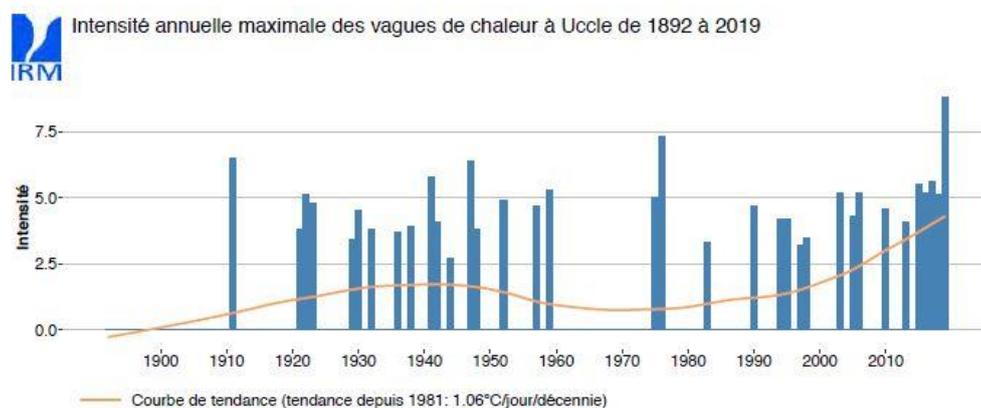


Figure 11: Evolution de l'intensité annuelle maximale des vagues de chaleur à Uccle sur la période 1892-2019. Source : IRM, 2020.

Dans ce même rapport, les chercheurs de l'IRM ont étudié l'évolution des vagues de chaleur en Région bruxelloise jusqu'à 2100. Cette évolution est liée à l'augmentation attendue de la température selon les trois différents scénarios RCP de GES. La figure n°12 montre le nombre de vagues de chaleur selon le scénario RCP 8.5, le plus pessimiste, pour trois types d'environnements à Bruxelles : un rural (Brussegem en vert), un suburbain (Uccle en bleu) et un urbain (Molenbeek en rouge). Celle-ci indique que le nombre de vagues de chaleur augmente à mesure que la température augmente. Elle montre aussi qu'à partir de la seconde moitié du siècle, au moins une vague de chaleur est attendue par été, quel que

soit l'environnement. Pour le centre-ville de Bruxelles, les projections selon le scénario RCP 8.5 qu'en 2100 montrent que le nombre de vagues de chaleur devrait tripler, que leur intensité devrait doubler et que leur durée devrait augmenter de 50%. Ces effets sont moins prononcés dans les zones rurales.

En revanche, pour le scénario le plus positif (RCP 2.6) où la température baisse à partir de la seconde moitié du siècle, le nombre de vagues de chaleur diminue également (non représenté).

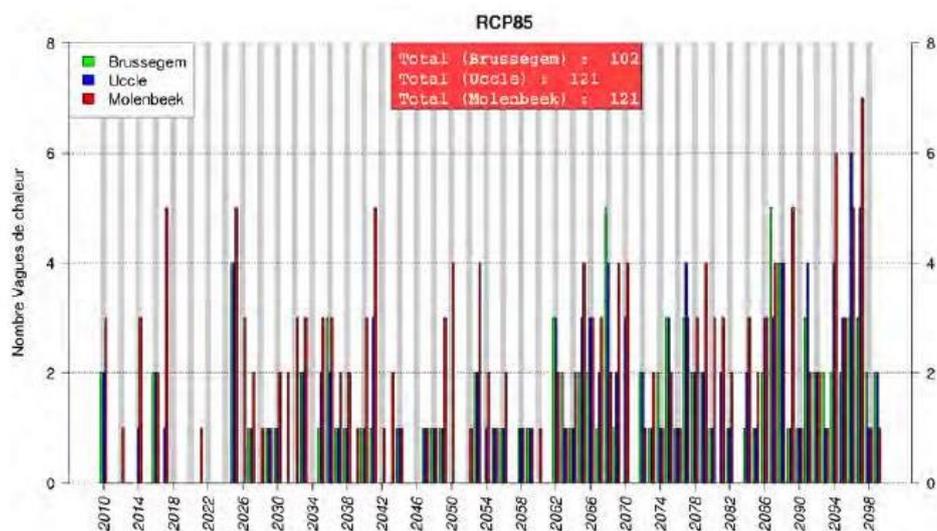


Figure 12: Evolution du nombre de vagues de chaleur selon le scénario RCP 8.5 pour trois types d'environnements à Bruxelles : un rural (Brussegem en vert), un suburbain (Uccle en bleu) et un urbain (Molenbeek en rouge). Source : IRM, 2020.

Par ailleurs, l'étude de Lauwaet et al. (2015) a permis de cartographier le degré d'exposition du territoire bruxellois aux vagues de chaleurs actuelle et future selon les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5.

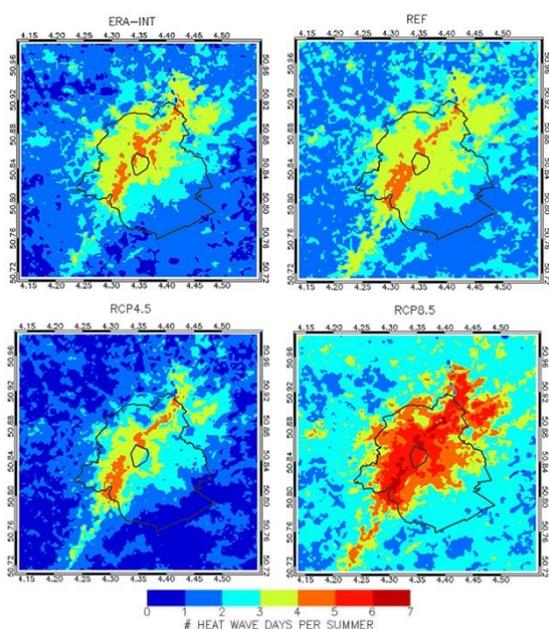


Figure 13: Cartes du nombre de jours de vague de chaleur par été (juin-août) pour les simulations sur 10 ans. Source : Lauwaet et al., 2015

La figure n°13 montre le nombre annuel des vagues de chaleur pour toutes les simulations RCP sur 10 ans. Dans les conditions actuelles, en raison de l'effet de l'ICU, les habitants des villes connaissent 2 à 3 fois plus de jours de canicule que les habitants de la campagne. Pour la simulation RCP4.5, la carte est assez similaire aux cartes actuelles, car les changements de température sont visiblement trop faibles pour déclencher des épisodes de chaleur plus extrêmes, en partie à cause de l'utilisation de seuils rigides. La simulation RCP 8.5 montre en revanche une hausse considérable du nombre annuel de vagues de chaleurs similaire aux résultats de l'IRM.

Comme mentionné précédemment, cela a des conséquences importantes sur la santé humaine, car

les nuits chaudes consécutives pendant lesquelles les gens ne peuvent pas se remettre de températures diurnes extrêmes peut être très préjudiciable à la santé des habitants de la ville.

### 3.4 La lutte contre l'ICU en RBC

On a pu voir précédemment que la question de lutte contre l'ICU est transversale et touche à différents enjeux de végétalisation, de déminéralisation et de perméabilisation, de propriétés thermiques des matériaux, de morphologie urbaine et de réduction de rejets thermiques. En RBC, ces différents leviers d'action sont encadrés par les institutions régionales et communales de la planification urbaine et de l'urbanisme en mettant en place des stratégies, des réglementations, des programmes opérationnels, des outils d'accompagnement ainsi que des indicateurs de suivi et d'évaluation.

Dans cette partie, nous allons donc parcourir et analyser les principaux acteurs institutionnels et les principaux documents et outils existants encadrant les mesures de lutte contre l'ICU ainsi que leur éventuelles évolutions et réformes.

#### 3.4.1 Institutions bruxelloises de la planification urbaine et de l'urbanisme

##### **3.4.1.1 *Echelle régionale***

###### Urban.Brussels

Anciennement appelée Bruxelles Urbanisme et Patrimoine (BUP), Urban.Brussels est une administration régionale impliquée dans le développement urbain en mettant en œuvre des politiques en matière d'urbanisme, de gestion des programmes opérationnels de revitalisation urbaine ainsi que du patrimoine culturel mobilier et immobilier. Elle assure également des missions administratives relatives aux primes de rénovation et à l'embellissement des façades mais aussi de réformes de certaines réglementations telles que le CoBAT et le RRU. Elle se compose de 6 unités administratives dont la direction de l'urbanisme, la direction du patrimoine culturel et la direction de la rénovation urbaine.

###### Perspective.brussels

Perspective.Brussels est un organisme d'intérêt public créé en 2015 sous le nom officiel de Bureau Bruxellois de la Planification. Il est formé par cinq directions dont la direction Stratégie Territoriale. Ce département met en place une vision de développement territorial à échelle de la région en développant à la fois des instruments stratégiques (PRDD) et réglementaires (PRAS, PAD). Il intègre également l'Institut Bruxellois de Statistique et d'Analyse (IBSA) chargé de la collecte, le traitement et l'analyse de données de nature statistiques à échelle de la Région.

###### Bruxelles Environnement

Créée en 1989 et anciennement connue sous le nom de l'Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement, Bruxelles Environnement est l'administration régionale de l'environnement et de l'énergie. Elle rassemble une diversité de domaines d'activités en lien avec l'environnement tels que

l'énergie, l'eau, le sol, la nature et la biodiversité, etc. Elle assure différents rôles notamment en matière d'administration (rédaction de réglementations et de stratégies en lien avec la planification urbaine et autorisations de permis d'environnement), d'accompagnement et de soutien (primes et aides financières), d'aménagement et gestion urbains (espaces verts, cours d'eau) et de collecte et de diffusion de données scientifiques.

### Bruxelles mobilité

Bruxelles mobilité est l'administration régionale chargée des équipements, des infrastructures et des déplacements. Elle s'occupe de la définition de stratégies en termes de mobilité (Plan Régional de Mobilité) mais aussi de l'aménagement et la gestion des voiries et des espaces publics régionaux. Elle comprend plusieurs Directions : Direction générale et Support, Planification, Construction, DITP (Infrastructure des Transports publics), Maintenance, Exploitation & Transport.

#### **3.4.1.2 Echelle communale**

En région bruxelloise, il existe 19 communes. Celles-ci interviennent également dans la planification urbaine et l'urbanisme en établissant des stratégies et des règlements sur le territoire communal et en gérant les espaces publics communaux (voiries, trottoirs, squares, jardins publics, etc.) au sein de services spécifiques d'urbanisme, d'espaces publics, de développement urbain, de mobilité, de climat, etc.

#### 3.4.2 Cadre légal

Plusieurs stratégies et réglementations légales traitent des domaines qui touchent à la problématique de l'ICU. Celles-ci peuvent être groupées dans deux volets principaux, ceux de l'urbanisme et de l'environnement. Plusieurs ordonnances et codes traitent ces deux domaines majeurs et donnent le cadre légal aux nombreux plans stratégiques ou réglementaires.

Les plans stratégiques abordent diverses thématiques relevant de l'aménagement du territoire mais aussi du développement économique, social, culturel, de mobilité et d'environnement. Ils ont une valeur indicative. Cela signifie qu'ils constituent le cadre à respecter par les pouvoirs publics mais qu'ils ne sont pas opposables aux tiers par eux-mêmes (Perspective.Brussels).<sup>6</sup>

Plans réglementaires :

Dans les parties qui suivent, nous allons présenter brièvement les plans stratégiques et réglementaires les plus importants qui sont en lien avec notre sujet.

---

<sup>6</sup> Perspective .Brussels <https://perspective.brussels/fr/plans-reglements/plans-strategiques>

### 3.4.2.1 Volet urbanisme : Code Bruxellois de l'Aménagement du Territoire (CoBAT)

Adopté par l'Arrêté du 9 avril 2004, le CoBAT constitue la base juridique de l'urbanisme en RBC. Il est applicable aux demandes de permis d'urbanisme. Il peut être soumis à révision en vue de permettre un développement urbain plus harmonieux. La dernière réforme du CoBAT date de l'année 2018.

Le CoBAT institue un certain nombre d'outils urbanistiques destinés à régir et à encadrer la matière de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire :

- Les plans stratégiques : PRD(D) et PCD
- Les plans d'affectation : PRAS et PPAS
- Les plans mixtes : PAD
- Les règlements d'urbanisme : RRU, RRUZ, RCU, RCUZ ou RCUS.

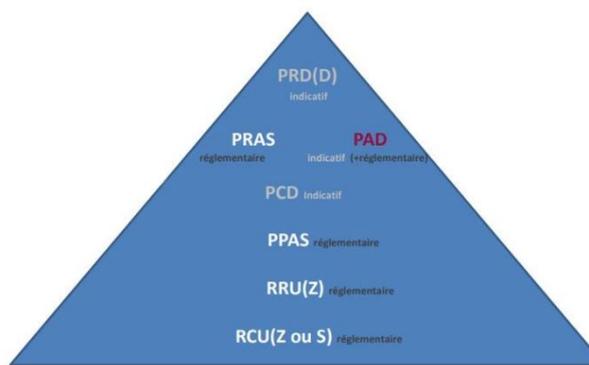


Figure 14: Hiérarchie des plans et des règlements d'aménagement bruxellois. Source: Vade-mecum de la réforme du CoBAT DPR 2014-2019.

Ces plans et règlements sont hiérarchisés «en pyramide » (Figure 14). Chaque outil s'inscrit dans les orientations des dispositions indicatives ou réglementaires de l'outil qui lui est supérieur (Vademecum de la réforme du CoBat DPR 2014-2019).

Ces outils sont établis sur deux niveaux, régional et communal.

#### 3.4.2.1.1 Echelle régionale

### Le Plan Régional de Développement (Durable) (PRD(D))

Le PRD est le plan le plus important dans la hiérarchie des plans. Il détermine le développement et l'aménagement de son territoire de la RBC. Les plans de rang inférieur ou les plans communaux doivent s'y conformer. Il s'agit d'un instrument de planification globale de développement.

Depuis sa création, le PRD a subi diverses actualisations. Le premier PRD adopté en 1995 avait pour finalité de combattre l'exode urbain et la déstructuration de la ville et de répondre à de multiples interrogations : la place des bureaux et du logement, la revitalisation des noyaux commerciaux, etc.

Le deuxième PRD, adopté en 2002, a introduit la notion de Zones-leviers, à mettre en œuvre par l'intermédiaire des schémas directeurs. Il définissait 12 priorités pour le développement de la Région bruxelloise. Le PRDD s'inscrit à la suite de ces deux plans avec un ajout d'un second D, pour «Durable», à l'appellation du PRD. Celui-ci a été actualisé en 2009 en réponse à de nouveaux défis recensés par la Région bruxelloise tels que l'essor démographique, l'accès à l'emploi, l'environnement et le

développement durable, etc. Le dernier PRDD entré en vigueur le 12 Juillet 2018 définit la vision territoriale de la RBC pour l'horizon de 2040 (Perspective.Brussels).<sup>7</sup>

L'axe 2 du PRDD traite entre autres la question du cadre de vie en faisant le lien avec le changement climatique, l'ICU, la santé publique, etc. Il incite à l'amélioration de la qualité des espaces publics, à l'augmentation de l'emprise des espaces verts dans les quartiers denses, au renforcement des maillages verts et bleus, à l'amélioration de la gestion environnementale de l'eau, etc. (Perspective.Brussels).<sup>8</sup>

### **Plan Régional d'Affectation du Sol (PRAS)**

Adopté par le Gouvernement le 03 mai 2001 et entré en vigueur le 29 juin 2001, le PRAS constitue le plan de référence en matière d'aménagement du territoire dans la RBC. Ce plan couvre l'ensemble du territoire régional. Il détermine et spatialise les différentes fonctions urbaines (habitat, bureau, espaces verts, etc.) auxquelles sont liées des affectations principales et des affectations secondaires, ce qui détermine les installations et les activités qui peuvent s'y développer. Le PRAS couvre toute la Région, il est unique et définit un zonage général. Il a force obligatoire et valeur réglementaire dans toutes ses dispositions. Le PRAS se situe au sommet de la hiérarchie des plans réglementaires. Toute délivrance de permis d'urbanisme doit lui être conforme (brochure explicative du PRAS démographique, 2013).

Le PRAS a fait l'objet de plusieurs errata et de modifications partielles. La dernière modification d'ampleur, adoptée par arrêté du 2 mai 2013, est entrée en vigueur le 21 décembre 2013, sous le nom de « **PRAS démographique** ». En effet, cette modification vise à répondre au défi démographique auquel la Région doit faire face, entraînant une demande croissante de logements.

Une nouvelle initiative de révision du PRAS a été lancée à la fin de l'année 2020.

### **Plan d'Aménagement Directeur (PAD)**

Le PAD est un outil récent d'aménagement de compétence régionale qui permet de définir à la fois des aspects stratégiques et réglementaires. Il est applicable à certains quartiers stratégiques de la RBC.

Le PAD abroge les dispositions réglementaires des autres plans qui lui sont contraires : dispositions réglementaires du PRAS, des PPAS, des RRU / RCU, des plans régionaux et communaux de mobilité et des permis de lotir en vigueur (Perspective. Brussels).<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Perspective. Brussels <https://perspective.brussels/fr/plans-reglements/plans-strategiques/plan-regional-de-developpement-prd>

<sup>8</sup> Perspective. Brussels <https://perspective.brussels/fr/plans-reglements-et-guides/plans-strategiques/plan-regional-de-developpement-prd/prdd>

<sup>9</sup> Perspective. Brussels <https://perspective.brussels/fr/plans-reglements/plans-strategiques-et-reglementaires-plan-damenagement-directeur-pad>

### **Règlement régional d'urbanisme (RRU)**

Adopté par le Gouvernement bruxellois le 21 novembre 2006 et entré en vigueur le 3 janvier 2007, le RRU définit, à échelle de la région, un certain nombre de règles en matière d'urbanisme. Le règlement couvre un ensemble d'aspects liés aux caractéristiques des constructions (gabarit, volume, esthétique, solidité), aux normes d'habitabilité des logements, à l'accessibilité des bâtiments pour les personnes à mobilité réduite (PMR), à l'aménagement des espaces publics, aux normes de stationnement en dehors de la voie publique, etc. Celles-ci doivent être respectées lors de l'élaboration de projets et de travaux soumis à un Permis d'Urbanisme (nouvelles constructions et rénovations lourdes) (Urban.Brussels).<sup>10</sup>

Un projet de réforme du RRU a été lancé il y a quelques années à la demande de l'ancien gouvernement 2014-2019. Ce projet ainsi que son rapport sur les incidences environnementales (RIE) étaient passés à l'enquête publique au mois de mars de l'année 2019. Avec le changement de gouvernement, ce projet s'est arrêté et va être relancé de nouveau.

### **Plan Régional de Mobilité - Good Move (PRM)**

Le plan Good Move succède aux plans régionaux de mobilité **Iris I (1998) et Iris II (2010)**.

L'ordonnance du 26 juillet 2013 donne une valeur réglementaire au PRM et définit le contenu et les processus d'élaboration de celui-ci et des plans communaux de mobilité (PCM), afin d'assurer une meilleure cohérence dans les stratégies et projets de mobilité à l'échelle régionale et communale. Le PRM est un instrument stratégique, d'orientation et d'application de la politique de mobilité, qui s'inscrit dans les orientations du PRDD. Les PCM devront quant à eux se conformer au PRM et décliner, à un niveau local, les orientations, les stratégies générales, ainsi que les mesures et actions définies dans le PRM. Selon l'ordonnance, le Gouvernement revoit le PRM tous les dix ans. Les mesures, actions et projets du plan Good Move concerne la période 2020-2030.

#### 3.4.2.1.2 Echelle communale

### **Plans Particuliers d'Affectation du Sol (PPAS)**

Les PPAS sont des outils de planification locale déterminant avec précision la manière dont doit s'organiser le territoire considéré : affectations, gabarits, implantations, etc. Ils déterminent les affectations admissibles par zone, en précisant ou complétant le PRAS et les dispositions réglementaires du PAD (Perspective.Brussels).<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Urban.Brussels <https://urbanisme.irisnet.be/lesreglesdujeu/les-reglements-durbanisme>

<sup>11</sup> Perspective.Brussels <https://perspective.brussels/fr/toolbox/reglementations-respecter/urbanisme/les-plans-et-reglements/les-plans-pras-pad-et-ppas>

## **Règlements Communaux d'Urbanisme (RCU)**

La plupart des RCU (au nombre de 16) ont récemment été abrogés par la réforme du CoBAT. Les RCU des communes de Schaerbeek et d'Evere sont toujours applicables, car ils ont été adoptés après le RRU de 2006. Il est aussi possible d'adopter des RCUZ (zonés) et des RCUS (spécifiques). Le dernier s'applique aux sujets non traités par les RRU ou visant à le préciser. Il s'agit notamment des RCU relatifs à la gestion des eaux élaborés par chacune des communes d'Uccle et de Forest (RIE RRU, 2018).

### **3.4.2.2 Volet environnement**

#### **3.4.2.2.1 Plan Nature**

Le Plan nature constitue l'un des outils de planification de la conservation de la nature instaurés par l'ordonnance du 1er mars 2012 relative à la conservation de la nature. Il s'agit d'un document d'orientation, de programmation et d'intégration de la politique de conservation de la nature en RBC. Par ailleurs, le Plan Nature s'inscrit dans une stratégie plus vaste visant à développer un cadre de vie agréable et attractif, encadré par une vision structurante d'organisation en réseau de la nature en ville (Bruxelles Environnement).<sup>12</sup>

#### **3.4.2.2.2 Plan de gestion des eaux (PGE)**

La Directive 2000/60/CE, appelée communément « Directive Cadre Eau », impose aux Etats membres de l'Union européenne d'élaborer et d'adopter un Plan de Gestion de district hydrographique, appelé également Plan de gestion de l'eau (PGE), tous les 6 ans. Cette obligation est transposée en droit bruxellois dans l'Ordonnance du 20 octobre 2006. Le PGE 2016-2021 fait suite au premier plan qui couvrait la période 2009-2015. Sur base de nouveaux constats qu'il pose, ce nouveau plan fixe des objectifs environnementaux à atteindre pour les eaux de surface, les eaux souterraines et les zones protégées. Il est accompagné d'un programme de mesures. Outre la qualité de l'eau, ce nouveau plan veut apporter une réponse intégrée et globale à l'ensemble des défis liés à la gestion de l'eau. Il intègre ainsi les obligations européennes en matière de prévention et de gestion des risques d'inondation et constitue la suite logique du Plan PLUIE adopté en 2008 (résumé non technique PGE 2016-2021, 2015). Un des objectifs majeurs du PGE était de limiter l'effet de l'imperméabilisation et de favoriser les dispositifs de gestion d'eau. Les principaux acteurs auquel le plan attribue des missions spécifiques pour la gestion du cycle de l'eau sont Bruxelles Environnement, Vivaqua, Hydrobru et la Société Bruxelloise de Gestion de l'Eau.

---

<sup>12</sup> Bruxelles Environnement <https://environnement.brussels/thematiques/espaces-verts-et-biodiversite/action-de-la-region/le-plan-nature>

### 3.4.2.2.3 Plan Air-Climat-Energie (PACE)

Le PACE trouve son fondement légal dans le COBRACE. Il a été adopté le 2 juin 2016. Ce plan propose 64 mesures et 144 actions qui ont pour but de permettre à la Région de réduire ses émissions de 30% d'ici 2025 (par rapport à 1990), ainsi que d'atteindre ses objectifs en matière d'air et d'énergie. Le PACE cible les secteurs les plus émetteurs de GES et de polluants atmosphériques (bâtiment, transport, etc.), encourage la production d'énergie renouvelable, et intègre les thématiques de l'air, du climat et de l'énergie dans les politiques bruxelloises (Bruxelles Environnement).<sup>13</sup>

### 3.4.2.3 Conclusion

Le tableau n°1 résume les documents mentionnés précédemment. Les différents plans stratégiques et réglementaires traitent les éléments qui influencent la création d'ICU et qui interagissent entre eux (eau, air, mobilité, etc.).

Il est important de mentionner qu'un même sujet peut être traité par plusieurs plans qui doivent être cohérents entre eux. Les plans stratégiques influencent ainsi les plans réglementaires. Cela se passe aussi bien au niveau « hiérarchique » (PRDD vers RRU) qu'au niveau transversal (PACE vers RRU).

On note par exemple l'isolation des bâtiments qui est traitée par le PACE dont les exigences nécessiteront la réforme du RRU. L'isolation des façades est aussi bien un enjeu en termes d'efficacité énergétique qu'en termes urbanistiques.

Il faut également rappeler, que l'aménagement du territoire réglé par le CoBAT prévoit de limiter l'impact de l'urbanisation sur l'environnement. Les projets publics et privés qui, notamment en raison de leur dimension, leur nature ou leur localisation, peuvent porter atteinte de manière sensible à l'environnement ou au milieu urbain ou avoir des répercussions sociales ou économiques importantes sont soumis à une évaluation préalable des incidences via une étude ou un rapport d'incidences.

Une interaction peut être également constatée au niveau des permis et des certifications. Cette action réciproque sera plus développée dans le chapitre suivant.

#### URBANISME

#### ENVIRONNEMENT

Aménagement du territoire & économie		Mobilité		Espaces verts	Eau	Air, Climat, Energie	Danger, Nuisances, Santé
<b>Arrêté du 9.4.2004 _CoBAT</b>				<b>Ord. du 1.3.2012</b>	<b>Ord. du 20.10.2006</b>	<b>Ord. du 3.5.2013_COBRACE</b>	<b>Ord. du 5.6.1997</b>
Régional	Communal	Régional	Communal	Régional	Régional	Régional	Régional
PRD(D) (art 16 du COBAT)	PCD (art 31 du COBAT)	Sur base du PRD(D)		Plan régional nature (en	Plan de gestion des eaux	Plan régional air-climat-	

<sup>13</sup> Bruxelles Environnement <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/bilan-energetique-et-action-de-la-region/air-climat-et-energie-une>

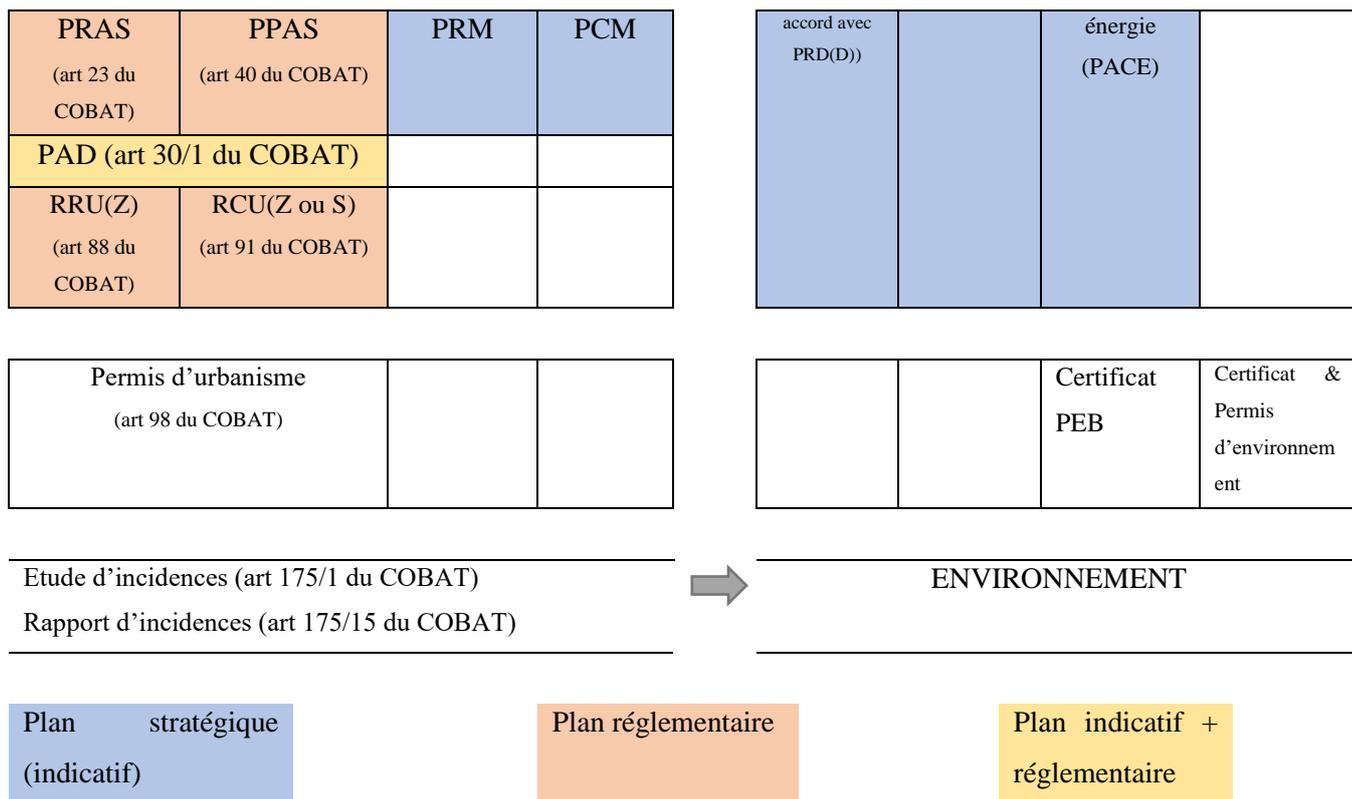


Tableau 1: Tableau récapitulatif des différents plans stratégiques et réglementaires en RBC. Source : Hajer Gaaloul.

### 3.4.3 Cadre opérationnel

On a pu voir dans la partie précédente les différents plans et règlements qui encadrent l'aménagement du territoire et de l'urbanisme de la Région bruxelloise. Les règlements s'appliquent 'erga omnes'. Comme déjà mentionné, ces règlements (RRU et PRAS) sont en cours de révision.

Parallèlement à ce cadre réglementaire, il existe un cadre opérationnel permettant la réalisation de projets urbains de réaménagement d'espaces publics, de construction et de rénovation de bâtiments (logements, bureaux, équipements), etc. Dans ce cadre, les réglementations représentent le minimum d'exigences à respecter par le demandeur de permis (urbanisme et environnement) tant pour le secteur public que le privé. Par ailleurs, le pouvoir public (régional ou communal) peut viser des exigences dépassant celles du minimum légal. Ceci est possible au sein de projets réalisés par eux même (région ou communes) ou à travers les cahiers des charges, pour les projets réalisés par des bureaux d'études, qui peuvent exiger l'intégration de certains éléments liés à la question environnementale (gestion des eaux de pluie sur place, circularité des matériaux, priorisation des espaces verts aux espaces minéralisés, etc.).

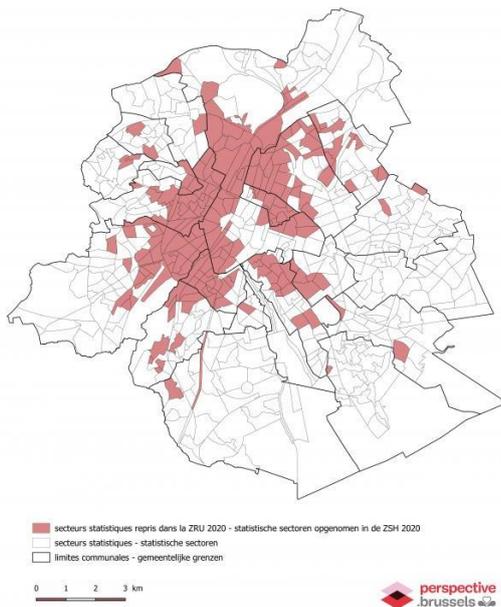


Figure 15 : Carte du périmètre de la ZRU (2020).  
Source : Perspective.Brussels.

Par ailleurs, la RBC a défini une Zone de Revitalisation Urbaine (ZRU), rassemblant un ensemble de quartiers en difficulté, entre autres afin d’améliorer la qualité de vie et d’assurer l’insertion socio-économique des habitants. Ce périmètre des ZRU est défini selon trois critères socio-économiques significatifs, représentatifs du niveau de précarité. Il s’agit des éléments suivants :

- taux de chômage supérieur à la moyenne régionale
- revenu médian inférieur à la moyenne régionale
- densité de population supérieure à la moyenne régionale.

Lorsque l’on regarde la carte du périmètre des ZRU (figure 15), celui-ci couvre une large partie du centre-ville et du canal, à savoir les zones les plus touchées par l’ICU sur le territoire de la RBC.

Afin de répondre à ces objectifs, des programmes opérationnels sont mis en œuvre dans ces zones. Il s’agit notamment des programmes de Contrats de Quartiers Durables (CQD) lorsque le périmètre se limite à une commune et de Contrats de Renovations Urbaines (CRU) lorsque le périmètre s’étend sur le territoire de plusieurs communes. Ces programmes participent à l’amélioration du cadre de vie et du cadre socio-économique des habitants en créant des espaces publics et des espaces verts, des logements, etc.

### 3.4.4 Outils d’accompagnement

Il existe de nombreux outils bruxellois d’orientation et d’accompagnement dédiés aux acteurs de la planification urbaine ainsi qu’aux bureaux d’études chargés de la conception des projets urbains. Il s’agit d’outils de référence et de partage de connaissance sans valeur réglementaire. Ces guides visent également à rendre opérationnels les objectifs stratégiques. Ils intègrent différentes thématiques en lien avec la question de lutte contre l’ICU comme notamment l’architecture bioclimatique, les mouvements d’air, le choix des revêtements à albédo élevé, la végétation, la gestion des eaux, la mobilité, etc. Il s’agit entre autres de la plateforme Be Sustainable, du guide du bâtiment durable, du guide de l’espace public bruxellois, vademecums de Bruxelles Environnement et de Bruxelles Mobilité, etc.

### 3.4.5 Règles et actions en lien avec la lutte contre l’ICU bruxellois

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps étudier pour chaque levier d’action la manière dont celui-ci est encadré par les différents outils existants mentionnés précédemment ainsi que les évolutions

de celle-ci s'il y en a. Ensuite, nous allons présenter le retour d'expérience à propos de la mise en œuvre de ces leviers d'action de la part des pouvoirs publics ainsi que des bureaux d'études.

#### **3.4.5.1 Végétalisation**

Certaines prescriptions du **PRAS** en vigueur déterminent des règles qui sont favorables à la végétalisation. Les prescriptions particulières relatives aux zones d'espaces verts et aux zones agricoles déterminent des zones où il est d'une manière générale interdit de bâtir. Il s'agit des zones vertes, des zones vertes de haute valeur biologique, des zones de parc, des zones de sports ou de loisirs de plein air, des zones de cimetières, des zones forestières, des zones de servitudes ou pourtour des bois et forêts et des zones agricoles.

La prescription générale 0.2 définit que *« dans toutes les zones, la réalisation d'espaces verts est admise sans restriction, notamment en vue de contribuer à la réalisation du maillage vert. En dehors des programmes prévus pour les zones d'intérêt régional, les demandes de certificat et de permis d'urbanisme ou de lotir portant sur une superficie au sol de minimum 5.000 m<sup>2</sup> prévoient le maintien ou la réalisation d'espaces verts d'au moins 10% de cette superficie au sol comprenant un ou plusieurs espaces verts d'un seul tenant de 500 m<sup>2</sup> de superficie au sol chacun »*. Elle favorise le renforcement du maillage vert et fixe un minimum de surface d'espaces verts (10% de la surface de la parcelle) pour les parcelles d'une superficie supérieure à 5000 m<sup>2</sup>.

Par ailleurs, certaines prescriptions visent la protection des intérieurs d'îlots en matière de leurs qualités végétales. Il s'agit notamment de la prescription générale 0.6 qui impose que *« dans toutes les zones, les actes et travaux améliorent, en priorité, les qualités végétales, ensuite, minérales, esthétiques et paysagères des intérieurs d'îlots et y favorisent le maintien ou la création des surfaces de pleine terre »*.

Toutefois, la protection des intérieurs d'îlots par le PRAS n'est pas absolue car celui-ci permet d'y toucher dans des cas spécifiques. En effet, la prescription 2.5 des prescriptions particulières relatives aux zones d'habitat impose que *« seuls les actes et travaux relatifs aux logements, aux équipements d'intérêt collectif ou de service public et aux commerces en liseré de noyau commercial peuvent porter atteinte aux intérieurs d'îlot. »*

Au niveau du **RRU**, les prescriptions traitant la végétalisation sont nombreuses et visent les zones d'espaces verts de petites tailles comme les zones de recul, les zones de cours et jardins ou intérieurs d'îlots, les zones de retrait latéral ainsi que les toitures végétalisées.

Concernant les zones de recul, l'article 11 du Titre I incite à ce que celles-ci soient aménagées en jardinet et plantées en pleine terre et interdit leur couverture de revêtement imperméable à l'exception des accès aux portes d'entrée et de garage.

Les zones de cours et de jardins sont quant à elles protégées grâce aux articles 4 et 13 du Titre I du RRU. En effet, l'article 4 du titre I impose des règles en termes de profondeur de la construction en interdisant

un dépassement de celle-ci de  $\frac{3}{4}$  de la profondeur de la parcelle. L'article 13 du Titre I impose quant à lui le maintien d'une surface perméable, qui soit en pleine terre et plantée, d'au moins 50% des zones de cours et jardins. L'article 12 du Titre I vise également le développement de la flore au niveau des zones de cours et jardins mais aussi au niveau des zones de retrait latéral.

Concernant les toitures, l'Article 13 du Titre I du RRU actuellement en vigueur impose la végétalisation des toitures plates non accessibles de plus de 100 m<sup>2</sup>. L'ancien projet de modification du RRU prévoyait de revoir à la baisse la superficie des toitures plates non accessibles devant être végétalisées. Il proposait que les toitures de plus de 60 m<sup>2</sup> soient soit aménagées en toitures végétalisées et / ou équipées de panneaux solaires thermiques, photovoltaïques ou orientables. Le projet de réforme du RRU proposait également d'élargir la disposition de végétalisation aux toitures en faible pente (<15°) voire également à celles qui sont accessibles. Par ailleurs, ni le RRU actuel ni l'ancienne proposition de sa réforme ne présentent d'imposition quant à la végétalisation des façades (RIE RRU, 2018).

Concernant la végétalisation de l'espace public, le RRU actuel traite de la plantation et la protection d'arbres à haute tige au niveau de l'espace public. Les articles 16, 17 et 18 du Titre VII du RRU permettent de déterminer les conditions minimales nécessaires à leur développement. Le RRU traite uniquement l'implantation d'arbres à haute tige et ne fixe pas de règles pour d'autres types / dispositifs de végétalisation (arbres basse tige, arbustes, noues, etc.). L'ancien projet de modification du RRU incitait à la plantation d'arbres d'alignement à haute tige au niveau des voiries. Il permettait de clarifier une ambiguïté du RRU existant par rapport à la plantation d'arbres en pleine terre en cas de proximité du réseau d'impétrants. Cette ambiguïté consiste au fait que le RRU actuel limite la pose du réseau d'utilité publique à une distance supérieure à 1,75m de l'axe du tronc d'arbre. Il n'est donc pas clair si cette norme s'applique dans le cas où l'on souhaite planter un nouvel arbre à côté d'un réseau existant. Cela posait des complications pour les aménagements des espaces publics dont le sous-sol est encombré par les divers réseaux limitant ainsi les possibilités de planter des arbres. Le projet de réforme du RRU prévoyait que, pour les nouveaux arbres à planter, les réseaux d'utilité publique doivent être regroupés dans des gaines techniques quand ces réseaux sont prévus à moins de 1,75 m de l'axe du tronc. La réforme du RRU visait également une meilleure condition quant au développement des arbres en protégeant par exemple leurs pieds du piétinement (grille de protection d'arbres avec largeur d'ouverture de maximum 2cm).

- Observations et analyses :

Comme le RIE de l'ancien projet de réforme du RRU l'a déjà souligné, le RRU en vigueur encadre principalement l'espace privé en matière de végétalisation notamment au niveau des zones de recul, les zones de cours et jardins ou intérieurs d'îlots, les zones de retrait latéral ainsi que des toitures végétalisées. En revanche, la réglementation en lien avec la végétalisation dans l'espace public est

limitée aux conditions de vie des arbres à hautes tiges. Comme déjà mentionné précédemment, la végétalisation de l'espace public est encadrée par des projets qui sont réalisés par les communes ou la région ou par des bureaux d'étude (projets soumis à cahier des charges).

Les différents entretiens avec les acteurs publics et les bureaux d'études ont néanmoins relevé certaines observations liées à la mise en œuvre de la végétalisation dans l'espace public.

Il s'agit d'abord d'un manque d'espace disponible. Une personne parmi celles interviewées de la commune d'Ixelles (interviewée C) a mentionné un problème de densité du territoire tant par les constructions que par les impétrants. Ceci est le cas notamment pour d'autres communes du centre de la RBC comme la ville de Bruxelles et la commune de Molenbeek. Ce manque d'espace disponible est aussi dû à la multitude de fonctions qui doivent être assurés par l'espace public (stationnement, pistes cyclables, plantations, circulations piétonnes) (M. Fostiez).

De plus, la dimension patrimoniale pourrait constituer un frein à la végétalisation. Selon Mme. Lebouilleux, la mise en valeur du patrimoine architectural se traduit souvent par une exigence de garder les façades ou les perspectives libres, et par conséquent de ne pas planter des arbres. Cela peut donc s'avérer particulièrement contraignant dans le centre historique.

Un autre obstacle à la végétalisation consiste en « la mentalité des riverains ». Mme. Lebouilleux explique que lors des réunions riveraines, la plupart des riverains ne sont pas souvent favorables à la plantation d'arbres ou de zones plantées devant leurs maisons car ceux-ci sont perçus comme potentiellement nuisibles (ombre, encombrement). Ils insistent sur la nécessité de garder une place de stationnement le plus proche de la porte d'entrée. Cette attitude peut être qualifiée de NIMBY (« Not In My Back Yard », qui signifie « pas dans mon arrière-cour ») et présente des contraintes pour les projets d'aménagement d'espace public en limitant les ambitions de végétalisation. NIMBY peut aussi être utilisé au sens figuré pour décrire des attitudes de certaines personnes qui prônent certains changements (par exemple lutte contre le réchauffement climatique), mais qui s'opposent à son application lorsque cela exige un changement de comportement de leur part.

Selon Mme Lebouilleux, le choix des arbres à planter doit également répondre à une multitude de critères (esthétique, résistant aux maladies, non allergène, indigène, non salissant, qui ne fait pas beaucoup d'ombre, qui ne prend pas beaucoup de place, etc.) qui limitent le nombre des essences adaptées au milieu urbain. De plus, selon un article de la WWF Canada intitulé « la vie des arbres en milieu urbain », la durée de vie moyenne d'un arbre planté en milieu urbain (30 ans) est largement inférieure à celle d'un arbre qui se développe naturellement dans son habitat naturel (200 ans). Ceci limite les effets positifs des arbres en ville sur le long terme. Ces restrictions multiples se présentent comme de vrais obstacles pour choisir des arbres résistants au changement climatique.

M.Cieri a par ailleurs souligné un problème de coût d'entretien lié à la végétalisation. En augmentant les espaces végétalisés dans l'espace public, les coûts de gestion vont peser sur le budget communal. Les espaces minéralisés sont en revanche perçus comme peu exigeants en termes d'entretien. L'interviewé A rajoute que pour la commune de Molenbeek, qui vise la 'dé-densification' et la végétalisation des intérieurs d'îlots, il y a également un enjeu socio-économique car la majorité de ceux-ci sont occupés actuellement par des ateliers qui assurent des emplois aux riverains.

On observe également une certaine réticence de la part des acteurs publics quant aux types de discours prônant le recours de manière systématisée à la plantation d'arbres en ville pour lutter contre l'ICU en les considérant comme la solution ultime à cette problématique en raison de leur rôle de refroidisseurs naturels. Selon M. Ruelle, planter des arbres est important mais cela ne doit pas se faire aux dépens d'autres enjeux. Vouloir par exemple planter des forêts à la place de prairies et de milieux ouverts est contreproductif pour la biodiversité.

Cette forme de simplification par rapport à l'usage de l'arbre a également été soulignée par Mme. Lebouilleux qui rajoute que le fait de fixer des objectifs chiffrés de plantation d'arbres n'a pas de signification profonde sur le terrain. Il s'agit avant tout d'une question de politique qui fait partie d'un pouvoir de communication mais qu'il faut considérer avec prudence. Par conséquent, il est conseillé de favoriser différents dispositifs de plantations (végétalisation de façades, plantations de noues, etc.)

#### **3.4.5.2 Gestion de l'eau**

La question de renforcement de la présence d'eau, de son infiltration et de son évaporation en ville passe principalement par la gestion intégrée des eaux pluviales. Celle-ci est encadrée par les documents stratégiques (PGE) et réglementaires.

En ce qui concerne la réglementation, la prescription 0.4 du **PRAS** interdit « *les actes et travaux amenant à la suppression ou à la réduction de la surface de plans d'eau de plus de 100 m<sup>2</sup> et les travaux amenant à la suppression, à la réduction du débit ou au voûtement des ruisseaux, rivières ou voies d'eau.* »

Le **RRU** actuellement en vigueur incite à l'infiltration des eaux sur la parcelle en mettant des normes de perméabilisation. En effet, il définit, à travers ses articles 11, 12 et 13 du Titre I, des règles de perméabilisation des zones de recul, des zones de cours et jardins et des zones de retrait latéral. La perméabilisation de ces zones permet l'infiltration des eaux de pluie au niveau de la parcelle. En revanche, le RRU actuel ne permet pas de préciser les quantités d'eau à infiltrer à la parcelle. L'article 13 du Titre I imposant la végétalisation des toitures non accessibles de plus de 100 m<sup>2</sup> favorise également l'absorption des eaux de pluie et par conséquent l'évapotranspiration.

Le **RRU** actuel impose l'implantation d'une citerne d'eaux pluviales de 33 l/m<sup>2</sup> de projection horizontale de surface des toitures. Cette imposition n'est pas en lien avec la lutte contre l'ICU vu qu'une citerne d'eaux pluviales ne permet pas l'évaporation d'eau et donc le rafraîchissement de l'air. Elle est plutôt en lien avec la lutte contre les inondations ainsi que la réduction de la consommation d'eau potable. Par ailleurs, le permis d'environnement impose généralement d'installer un système de récupération de l'eau de pluie d'au moins 33 l/m<sup>2</sup> de toiture en projection horizontale. Il impose également des bassins d'orage et la récupération des eaux de pluie selon le principe de 25 l/m<sup>2</sup> de surface imperméable.

L'ancien projet de réforme du RRU prévoyait de fixer des normes quant aux quantités d'eau à gérer au niveau de la parcelle et de renforcer l'évaporation / évapotranspiration ainsi que l'infiltration des eaux. Selon le RIE du RRU (2018), le projet de réforme du RRU proposait un nouvel article (article 17) lié à la gestion des eaux pluviales. Le deuxième paragraphe de cet article permet de renforcer l'infiltration, l'évapotranspiration et l'évaporation des eaux pluviales au niveau de la parcelle en priorisant l'aménagement de dispositifs de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert végétalisés ou non. Il s'agit d'« *un ou plusieurs dispositifs de gestion des eaux pluviales suivants, par ordre de priorité :*

- *un dispositif à ciel ouvert et végétalisé, tel qu'une toiture végétalisée, un étang naturel, une noue ou un jardin de pluie, conçu de manière à maximaliser l'infiltration, l'évaporation et/ou l'évapotranspiration des eaux pluviales ;*
- *un dispositif à ciel ouvert et non végétalisé, tel qu'une pièce d'eau artificielle ou un bassin de rétention à ciel ouvert, conçu de manière à maximaliser l'évaporation des eaux pluviales ;*
- *un dispositif enterré, tel qu'un bassin d'orage ».*

Les troisième et quatrième paragraphes de ce même article permettaient de quantifier les volumes des eaux pluviales à gérer à la parcelle. Comme l'outil QUADEAU<sup>14</sup>, ils fixaient différents objectifs quant à la manière de gérer les eaux pluviales selon la taille de la surface des zones imperméables.

Pour les surfaces inférieures à 100 m<sup>2</sup>, le projet de modification du RRU proposait qu'un volume d'eau minimal de 8 l/m<sup>2</sup> de surfaces imperméables doit être infiltré et / ou évapotranspiré au niveau de la parcelle et que ce volume doit être vidangé endéans les 48 h. Aucun débit de fuite n'est autorisé dans ce cas de figure. Pour les surfaces imperméabilisées de plus de 100 m<sup>2</sup>, l'article définissait des volumes d'eau supérieurs ainsi que des débits de fuites. Autrement dit, il proposait d'infiltrer et / ou d'évapotranspirer une partie de ces eaux au niveau de la parcelle et de tamponner l'autre partie de ces eaux afin de prolonger la présence d'eau au niveau de la parcelle. Cette quantification est reprise dans le tableau n°2.

---

<sup>14</sup> Outil de calcul de gestion d'eau pluviale accessible sur le site de Bruxelles Environnement. <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/bonnes-pratiques-pour-construire-et-renover/eau/outil-de-gestion-de>

Surface imperméable (m2)	Volume (l/m2 de surface imperméable)	Débit de fuite (l/s)
< 100	8	0
100-200	10	1
200-500	20	1
500-2000	35	1
> 2000	40	5

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des volumes d'eau à gérer à la parcelle. Source : Hajer Gaaloul sur base du RIE du RRU (2018)

Enfin, le 4<sup>ème</sup> paragraphe de l'article 17 définissait également que « l'éventuel rejet du volume d'eau en dehors de la parcelle soit évacué par ordre de priorité vers :

- a) le réseau hydrographique lorsqu'un cours d'eau se trouve à proximité immédiate ;
- b) un réseau séparatif d'eaux pluviales lorsqu'il en existe un ; ce rejet tient compte des débits admissibles définis par leur gestionnaire ;
- c) le réseau d'égouttage public avec un débit de fuite régulé » Ceci permet de valoriser les eaux de pluie et d'éviter « le tout à l'égout ».

En ce qui concerne la méthode de calcul des volumes d'eau à gérer déterminé par l'ancien projet de réforme du RRU, la capacité d'infiltration des sols n'est pas prise en considération. Celle-ci est par ailleurs prise en considération dans le RCUS de gestion des eaux pluviales de la commune de Forest. Elle est également prise en compte au sein de l'outil QUADÉAU . Le RRU impose donc des minimas tandis que les RCUS visent des solutions optimales à échelle locale (de la commune).

Concernant l'espace public, le RRU actuel ne vise pas la gestion intégrée des eaux pluviales. Il ne fait aucune référence quant à la perméabilisation des espaces publics (places, zones de stationnement, trottoirs, etc.). Il n'incite pas à l'utilisation de dispositifs d'infiltration ou de rétention des eaux de pluie ni même à l'emploi de revêtements semi-perméables dans les espaces publics et privés (dalles gazon, dolomie, graviers, etc.) (RIE RRU, 2018). Cet enjeu reste libre à la sensibilité des pouvoirs adjudicateurs et des bureaux d'étude dans le cadre des projets d'aménagement des espaces publics.

Par ailleurs, le projet de réforme du RRU incitait à ce que « l'aménagement de l'espace public favorise la rétention, la temporisation et l'infiltration des eaux de surface en limitant tant que possible le rejet des eaux de ruissellement vers le réseau d'égouttage » (RIE RRU, 2018). En revanche il ne donnait pas davantage de précision en termes de quantité de volume d'eau à gérer dans l'espace public.

Par ailleurs, la gestion intégrée des eaux pluviales nécessite une approche plus large, par bassin versant. Pour cela, dans le cadre du PGE, il existe une plateforme de coordination des acteurs d'eau, qui comprend les différents acteurs. Il s'agit de Vivaqua, la Société Bruxelloise de Gestion de l'Eau (SBGE), le Port de Bruxelles qui gère le canal, Bruxelles Environnement et un représentant du Ministère de

l'Environnement. Des groupes de travail thématiques ou organisés par bassin versant permettent de tenir des réunions au moins une fois par semestre. Des représentants des communes appelés « conseillers eau » font partie de ces groupes de travail. Ils sont censés animer le débat sur les questions relatives à l'eau au niveau communal (M.Mayer).

- Observations et analyses :

La priorisation de la mise en place de dispositifs de gestion d'eau à ciel ouvert dans l'ancien projet de réforme du RRU ainsi que dans les projets d'espace public est favorable à la lutte contre l'ICU car ceux-ci favorisent l'évaporation / évapotranspiration. Néanmoins l'expérience montre que leur mise en place nécessite de l'espace. Ceux-ci sont toutefois limités dans les milieux urbains denses notamment du centre-ville.

De plus, selon M. Mayer, la présence d'eau en surface en milieu urbain n'est généralement pas acceptée par le grand public. Cette crainte est fortement influencée par sa perception historique. L'eau en ville est de ce fait jusqu'à présent considérée dans certains cas comme vecteur de maladies, d'insectes et de danger lié aux inondations. D'autre part, des dispositifs d'infiltration à proximité des bâtiments, pouvant également générer des infiltrations d'eau au niveau de la fondation de la construction ou les caves, ne sont pas facilement acceptables de la part des particuliers concernés.

On assiste donc à un décalage entre un renversement de tendance au niveau de la pratique des acteurs publics qui se traduit notamment par la remise à ciel ouvert de certains cours d'eau (Seine) et la mise en place de dispositifs de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert et l'attitude des riverains qui demeurent méfiants de ces pratiques.

### **3.4.5.3 Morphologie urbaine**

Le titre I du RRU actuellement en vigueur définit des règles d'implantation et de gabarit (profondeur et hauteur) des constructions mitoyennes. Le projet est appréhendé au regard des bâtiments voisins (de gauche et de droite) quand il s'agit de mitoyenneté ou des bâtiments aux environs directs quand c'est en isolé. Cette règle assure la cohérence et la continuité des gabarits, en imposant de s'harmoniser aux constructions voisines. L'ancien projet de réforme du RRU prévoyait un changement des règles concernant les gabarits des bâtiments afin de pouvoir densifier davantage la RBC (au niveau des dents creuses) et de s'aligner aux objectifs de densification des quartiers fixés par le PRDD (RIE RRU, 2018). Selon le RIE, cette modification n'est pas favorable à la lutte contre l'ICU. Un front de bâti continu et sans dent creuse aura pour effet d'accentuer l'effet de canyon urbain en augmentant les surfaces réceptives du rayonnement solaire ainsi que le piégeage de celui-ci par les bâtiments.

- Observations et analyses :

La densification urbaine est considérée comme le moyen de rendre les villes plus durables. Elle permet l'implantation de nouvelles fonctions sans augmenter l'empreinte spatiale de la ville et réduit ainsi les dépenses liées aux infrastructures, à la gestion et surtout aux nuisances liées aux déplacements. La densification représente donc une réponse à l'étalement urbain, jugé inapproprié.

Un des objectifs principaux du PRDD consiste en une densification maîtrisée des quartiers. Lors des entretiens, M. Géraud ainsi que M. Jossart ont exprimé un réel besoin de construire des logements sociaux dont le déficit est important. Néanmoins le RIE de l'ancien projet de réforme du RRU a révélé une opposition entre la densification telle que proposée par celui-ci et la lutte contre l'ICU.

#### **3.4.5.4 Propriétés thermiques des matériaux**

L'action 118 du PACE « *Favoriser l'usage de matériaux clairs de tout (ré)-aménagement de l'espaces public* », vise à utiliser des revêtements de sol clairs afin d'éviter une surchauffe du sol. Ni le RRU en vigueur, ni l'ancien projet de modification du RRU ne spécifient de règle relative aux propriétés thermiques des matériaux (RIE RRU, 2018).

Le sujet d'albédo est traité uniquement au niveau des outils d'accompagnements comme le guide du bâtiment durable, les revêtements des aménagements piétons, etc.

- Observations et analyses :

La thématique des propriétés thermiques des matériaux est très peu traitée dans les différents outils. D'autre part, son traitement manque de précisions et se limite au critère de l'albédo. Il ne prend pas en compte le critère d'inertie thermique qui est aussi important.

Il existe des certificats et des labels pour le caractère écologique et durable des matériaux de constructions utilisés pour les bâtiments passifs. Ceux-ci se basent principalement sur la limitation des impacts environnementaux globaux liés à la production et à la fin de vie des matériaux. Les certifications pour les bâtiments durables ne prennent pas en compte le critère de propriétés thermiques des matériaux et on arrive parfois à des incohérences comme l'exemple de l'immeuble passif de bureaux 'Black Pearl' aux façades noires mentionné par M. D'Otreppe.

Par ailleurs, selon M. Fostiez, l'urbanisme pourrait constituer un frein à la mise en place de cette mesure car il recherche généralement une cohérence au niveau des couleurs, etc.

#### **3.4.5.5 Réduction de rejets de chaleur anthropique**

D'après Bernier.D (2021), il n'existe actuellement pas suffisamment de mesures précises des rejets thermiques liés à la mobilité pour faire le lien entre la mobilité et son impact sur l'ICU. Les études se

basent principalement sur le lien entre les émissions de GES et la mobilité. Ceci est valable pour les rejets thermiques liés aux bâtiments comme le confirme M. d'Otreppe.

Selon Solé.J (2021), les émissions directes de GES sont générées en Région bruxelloise principalement par le chauffage des bâtiments (logements et bureaux) (55%) et par le transport (27%). Ce sont les deux priorités d'intervention régionale en termes de réduction d'émissions directes de GES. Des stratégies et interventions sont mises en place par la RBC afin de réduire les émissions de GES et indirectement de diminuer les rejets de chaleur anthropique.

### 3.1.1. Isolation des bâtiments :

L'isolation thermique des bâtiments était traitée par le Titre V du RRU. Celui-ci a été abrogé par l'ordonnance du 07 juin 2007 relative à la performance énergétique et au climat intérieur des bâtiments. Cette ordonnance a elle-même été remplacée par l'ordonnance-cadre du COBRACE adoptée le 2 mai 2013. Celui-ci cadre notamment la réglementation PEB.

La réglementation PEB impose de hautes performances énergétiques pour les nouvelles constructions et les rénovations lourdes. Il s'agit d'une part de l'isolation thermique des bâtiments et d'autre part d'améliorer la performance énergétique de chauffage et de climatisation.

Afin d'éviter le recours à la climatisation, la réglementation PEB fixe un certain seuil de surchauffe qui est de ne pas dépasser 5% du temps sur une année pendant lequel la température est supérieure à 25°C (Guide Bâtiment Durable, 2020). Elle incite également au recours à des moyens de refroidissement passifs tels que l'installation de protection solaire, la ventilation naturelle, l'orientation des bâtiments, des façades opaques, etc. Concernant le bâti existant, il n'y a actuellement pas d'obligation d'isolation extérieure des façades (M.d'Otreppe).

Le RRU actuellement en vigueur représente un frein à cette question se justifiant d'un point de vue urbanistique par un soucis de modification du paysage urbain et de l'esthétique des façades en cas d'isolation des façades avant. L'ancien projet de réforme du RRU prévoyait de permettre l'isolation du bâti par l'extérieur. Ainsi, pour les constructions existantes, il était ainsi proposé de « *permettre l'isolation de la toiture et de la façade arrière en saillie sur 50 cm lorsque cela ne porte pas atteinte aux qualités architecturales de l'immeuble, de permettre l'isolation du mur pignon sur 30 cm lorsque cela ne porte pas atteinte aux qualités architecturales et si le voisin concerné marque son accord, et celle de la façade avant sur 14 cm sous certaines conditions* » (RIE RRU, 2018).

Par ailleurs, afin d'atteindre les objectifs de réduction de consommation énergétique, une stratégie nommée 'Rénolution' obligeant la rénovation de l'ensemble du parc immobilier (isolation des bâtiments) existant a été fixée pour 2050. Celle-ci se mettra progressivement en place à partir de 2030. L'objectif étant d'atteindre un niveau moyen de performance énergétique de 100kWh/ m<sup>2</sup>/an pour les logements bruxellois et la neutralité énergétique pour le secteur tertiaire en 2050, ce qui correspond à une consommation moyenne divisée par 3 ou 4 par rapport à la situation actuelle (Solé, 2021).

### 3.1.2. Réduction des GES et du rejet de chaleur liés à la mobilité

De nombreux plans régionaux, comme le PRDD, le plan Air Climat Energie, le plan Good Move, ont mis en place des objectifs quant à la réduction des GES liés à la mobilité. Ces plans visent à réduire l'usage des voitures en favorisant les modes actifs, vélo et marche, en particulier sur les petites distances. Le plan régional de mobilité Good Move 2020-2030 a pour objectif de réduire de 21% les véhicules – kilomètres en Région bruxelloise et de 50% le nombre de voyages en voitures privées. Il vise une stratégie de report modal (Modal shift) en incitant au remplacement de l'usage de la voiture par les modes de transports actifs. Un autre objectif consiste en l'électrification des voitures circulant en ville (Motor Shift). Le « rééquilibrage » des modes de transport, jusqu'à présent jugé trop favorable à la voiture, consiste également en une politique de réduction de places de stationnement pour les voitures. Actuellement, le nombre de places de stationnement hors voirie par logement et pour les immeubles de bureaux sont réglés par le RRU (Permis d'urbanisme) et le COBRACE (Permis d'environnement). Le nombre maximal de places de parking hors voirie est défini selon la superficie de plancher des bureaux et de l'accessibilité de la zone en transports en commun.

Selon parking.brussels, l'offre globale de stationnement en voirie présente environ 265.000 places et 500.000 places hors voirie, avec d'importantes disparités entre les communes de la première et de la deuxième couronne. La Région ambitionne de faire passer le nombre de places de stationnement en voirie en dessous de la barre des 200.000, soit une réduction de 65.000 places (L'Echo, 2019).

L'espace libéré servira au développement d'infrastructures des modes actifs ou collectifs (marche, vélo et transport en commun). Un réseau cyclable plus confortable et plus relié pourrait donc être mis en place (les pistes cyclables séparées, ICR et RER vélo). C'est également le nombre de places de stationnement vélo qui devrait être agrandi. Des prescriptions relatives au stationnement de vélo en ville (nouveaux logements et bureaux, à proximité des équipements publics) sont actuellement définies par le RRU (Permis d'Urbanisme). C'est également le PACE qui précise en son action 56 la nécessité d'étendre l'offre de parkings vélos à travers les permis d'environnement.

Concernant la marche, le PRDD (Axe 4 « *Mobiliser le territoire pour favoriser le déplacement multimodal* ») vise à inciter à la marche et d'atteindre l'objectif de 50% des déplacements de courtes distances à pied en 2025.

#### - Observations et analyses :

Comme indiqué précédemment, la RBC fournit des efforts en termes de réduction des émissions directes de GES liés aux secteurs de bâtiments et de transport. Cela contribue indirectement à la lutte contre l'ICU bruxellois. En revanche, l'absence de mesures des rejets thermiques liées à la mobilité et aux constructions ne permet pas d'établir un suivi direct de la lutte contre l'ICU.

### 3.4.6 Outils de suivi et d'évaluation

Il existe actuellement en RBC des indicateurs pouvant être utilisés pour faire le suivi de la progression de l'ICU. Nous pouvons distinguer deux types d'indicateurs : directs (mesures thermiques) et indirects (CBS+, NDVI, imperméabilisation des sols, Plateforme NOVA).

#### 3.4.6.1 Mesures thermiques

Des mesures thermiques sur le territoire bruxellois à un intervalle de temps donné représentent un indicateur direct de l'ICU. Comme mentionné précédemment, en Région bruxelloise, deux stations météorologiques fournissent une base de données importante, mais le réseau de stations devrait se densifier dans le futur. L'imagerie satellitaire fournit une image à grande échelle et est utilisée pour produire des cartes d'ICU.

#### 3.4.6.2 Coefficient de potentiel de biodiversité par surface (CBS+)

Reproduit par la Région bruxelloise de l'outil CBS (Coefficient de Biotope par Surface) créé pour le développement urbain de la ville de Berlin, l'outil CBS (actuellement CBS +) est utilisé pour évaluer le potentiel écologique global d'un projet. Il s'agit du rapport qu'il faudrait observer sur toute parcelle entre les surfaces favorisant la *biodiversité* et la superficie totale de la parcelle (Guide Bâtiment Durable, 2019).

Il permet d'attribuer un facteur de pondération à chaque type de surface selon la typologie de celle-ci (habitat) en favorisant des espaces à caractère naturel, de pleine terre perméables et végétalisés. La valeur du facteur de pondération la plus basse est attribuée aux surfaces artificielles (0). En revanche les valeurs du facteur de pondération les plus élevés sont attribués à des plans d'eau à caractère naturel (0,8) ainsi que des espaces verts de pleine terre et à couverture végétale élevée (0,8 et 0,9).<sup>15</sup>

Il est calculé en faisant le rapport entre la somme des différents types de surfaces pondérées selon leur potentiel pour la biodiversité et la surface totale de la parcelle.

$$CBS + = \frac{\sum \text{Type de surface} * \text{facteur de pondération}}{\text{Surface totale de la parcelle}}$$

Le CBS + qui est l'adaptation de la première version du CBS varie entre les valeurs de 0 et 1. Plus il se rapproche de la valeur de 1 plus le site est végétalisé. Bien que cet outil fût créé dans un but d'amélioration de la biodiversité en ville, il favorise également la perméabilisation et la végétalisation des surfaces. Il s'agit donc d'un outil important pour améliorer le niveau d'évapotranspiration dans la ville et réduire ainsi l'effet d'ICU.

---

<sup>15</sup> Annexe 6

Actuellement, le CBS + a une valeur de recommandation. Par conséquent, les concepteurs des projets publics ou privés ne sont pas dans l'obligation de le suivre. Néanmoins, le pouvoir adjudicateur a de plus en plus l'habitude d'intégrer les exigences du CBS + dans le cahier spécial des charges. Il devient donc indirectement contraignant dans les projets publics pour certains projets.

Il existe actuellement une carte de CBS+ de la situation existante à échelle de la Région bruxelloise <sup>16</sup>. Celle-ci illustre le score du coefficient estimé du potentiel de biodiversité par zone pour chaque îlot bâti. La distribution des valeurs les plus faibles montre une forte corrélation avec la distribution spatiale de l'ICU.

L'ancien projet de réforme du RRU prévoyait d'intégrer cet outil dans le RRU. Néanmoins, il ne spécifie pas les valeurs cibles à atteindre. Il mentionne seulement la volonté de maximiser le CBS+ (RIE RRU, 2018). L'absence de valeur cible met en question l'efficacité de l'outil même.

### 3.4.6.3 NDVI

La corrélation entre le niveau de végétation et l'ICU a été démontrée précédemment. Afin de déterminer le niveau de végétalisation d'un territoire, l'indice le plus couramment utilisé est le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) qui se base sur des images satellites. L'étude de NDVI pour la RBC réalisée par la VUB (2010) a montré une couverture végétale de 54% de la Région, la plupart des zones vertes étant situées à la périphérie de la ville. Cette étude a également constaté une diminution progressive de la couverture végétale illustrée par le diagramme ci-contre (figure16).

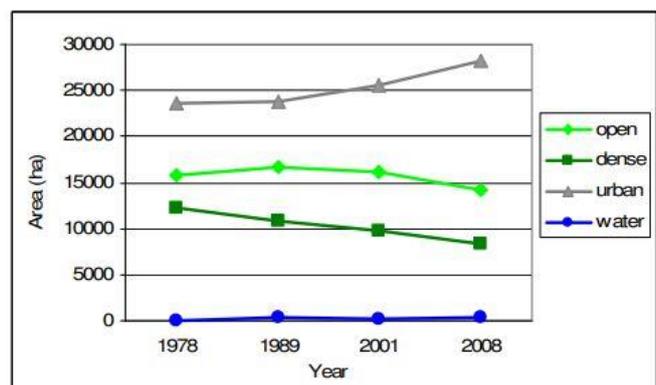


Figure 16 : Diagramme de l'évolution spatio-temporelle de l'indice NDVI en RBC. Source : Van De Voorde et al., 2010.

### 3.4.6.4 Imperméabilisation des sols

Une étude de l'évolution de l'imperméabilisation en RBC a été réalisée par Vanhuyse et al. (2006) de l'ULB/IGEAT pour le ministère de la RBC, Administration de l'Équipement et des Déplacements/Direction de l'Eau. L'étude a permis de constater une augmentation du taux d'imperméabilisation de 26% en 1955 à 47% en 2006 (Tableau 3). Les résultats de cette étude peuvent être utilisés comme un indicateur de l'évolution du niveau d'imperméabilisation de la RBC. Néanmoins une actualisation régulière des résultats est nécessaire. <sup>17</sup>

<sup>16</sup> Annexe 7

<sup>17</sup> Annexe 8

	Proportion de surfaces imperméables (en %)				
	1955	1970	1985	1993	2006
Anderlecht	19	29	38	42	49
Auderghem	11	20	22	24	29
Berchem Ste Agathe	19	30	39	40	48
Bruxelles	31	37	44	47	52
Etterbeek	60	65	65	70	76
Evere	16	33	41	41	48
Forest	32	41	49	51	63
Ganshoren	20	35	42	<b>40</b>	48
Ixelles	49	57	59	64	72
Jette	26	33	40	<b>39</b>	47
Koekelberg	48	59	61	62	69
Molenbeek	39	46	52	57	63
Saint Gilles	66	66	66	75	85
Saint Josse	68	<b>67</b>	<b>65</b>	71	80
Schaerbeek	49	56	59	63	68
Uccle	19	26	27	<b>23</b>	32
Watermael-Boltsfort	9	12	13	<b>11</b>	16
Woluwe-St-Lambert	20	34	42	<b>41</b>	50
Woluwe-St-Pierre	19	30	32	<b>28</b>	38

\* Communes dont le territoire ne s'inscrit pas entièrement dans la zone d'étude

Tableau 3 : Evolution du pourcentage de surfaces imperméables par commune. Source : Van Huyse et al., 2006.

### 3.4.6.5 Plateforme NOVA

Il existe depuis une dizaine d'années un formulaire<sup>18</sup> que le demandeur de permis d'urbanisme doit joindre à sa demande. Celui-ci comporte des données en lien avec l'imperméabilisation des sols, le nombre d'arbres abattus et plantés, etc. Les données sont centralisées et encodées sur une unique plateforme NOVA qui pourra alors servir pour le monitoring (M.Fostiez). Toutefois, des actes qui ne nécessitent pas un permis d'urbanisme comme la plantation d'arbres dans les jardins privés ne sont pas pris en considération.

## 3.5 Discussion

Le but du présent travail était d'évaluer l'état de la lutte contre l'effet d'ICU dans la RBC. Ceci s'est traduit par un travail de recherche sur les moyens et outils bruxellois existants qui sont déployés pour encadrer les différentes mesures de lutte contre l'ICU ainsi que leurs perspectives d'évolutions.

Dans ce chapitre, nous tenterons de faire le bilan de la manière dont la question d'ICU est actuellement encadrée ainsi que ses éventuelles évolutions sur la base des données et informations récoltées dans le cadre de ce travail. Nous essayerons de relever les freins et les opportunités pour assurer une meilleure efficacité.

- Modélisations et simulations

A échelle globale, on a pu voir précédemment que les simulations numériques de la répartition spatio-temporelle de l'ICU bruxellois ont permis de déterminer les zones les plus vulnérables à l'effet de l'ICU (centre-ville, zone du canal). Ces études s'avèrent intéressantes car elles prennent en compte des

<sup>18</sup> Annexe 9

éléments de large échelle comme notamment les masses d'air, etc. Néanmoins, ces simulations présentent certaines limites. D'une part, la puissance limitée des calculs des ordinateurs influence la complexité des simulations numériques et conduit à une simplification de celles-ci. En effet, le modèle élaboré par les chercheurs de l'IRM (Hamdi et al., 2016) a utilisé une technique de réduction d'échelle urbaine dynamique à une résolution de 1 km. Cette taille de grille prend en compte les éléments dominants par unité de grille. Des éléments relativement petits, tels que le canal ayant 20 à 40 m de large, n'ont pas été pris en compte dans les calculs. Il en va de même pour les espaces verts de petites tailles. La végétalisation de petites surfaces (toitures, squares, etc.) ou l'augmentation du nombre d'arbres (alignements, etc.) en ville ne seront pas reflétées dans les résultats de la simulation numérique.

L'augmentation de la résolution des modèles pourrait remédier à cela. Néanmoins, une résolution plus élevée combinée à la complexité des données d'entrée pourrait rendre les simulations inefficaces en raison du temps nécessaire pour la résolution de ce type de simulation numérique. Selon Hamdi. R. (correspondance par vidéoconférence, 3 Avril 2020), une simulation avec une résolution d'environ 500 m peut prendre plus d'un an.

Par ailleurs, d'autres données comme la chaleur anthropique ne rentrent pas dans les simulations numériques. Par conséquent, une réduction des rejets thermiques provenant des bâtiments et du trafic routier n'influencera pas les résultats des simulations numériques de l'ICU.

Des modélisations à échelle globale s'avèrent insuffisantes pour traiter la question de l'ICU. Des simulations numériques du « microclimat » des zones de la taille d'une place ou d'un quartier pourraient compléter les simulations de large échelle tant dans la détermination d'objectifs pour les projets d'aménagement urbain (demandes dans les cahiers de charge par exemple) que dans l'évaluation des impacts de ceux-ci. L'entretien avec une personne de la ville de Bruxelles (interviewé B) a montré la volonté de celle-ci de réaliser des simulations de microclimat à échelle des places se trouvant sur le territoire du Pentagone. Ces simulations du microclimat sont intéressantes. Toutefois, elles ne devraient pas ignorer les interactions de l'espace en question avec ses alentours à plus grande échelle (végétation, masse d'air).

Il faut également noter, que les données météorologiques proviennent actuellement uniquement de deux stations situées en RBC (Uccle et Molenbeek) et une à proximité, à Brussegem. Pour affiner les données, le réseau existant devrait être plus dense. Selon Mme. Van Plancken, il existe actuellement une réflexion de la part de Bruxelles Environnement et l'IRM pour trouver d'autres endroits où il serait opportun d'implanter davantage de stations thermiques.

#### - Outils réglementaires et opérationnels :

L'étude de la réglementation en vigueur a permis de montrer que celle-ci ne traite pas suffisamment la question d'ICU d'une manière directe. Comme mentionné précédemment, le RRU impose des minimas en termes de règles et s'applique d'une manière uniforme et indifférente sur le territoire de la Région

bruxelloise. Il ne distingue pas les zones du centre-ville et du canal qui sont le plus touchées par l'ICU. Par ailleurs, on a pu voir que le RCU permet d'imposer des règles plus strictes que celles du RRU comme l'exemple du RCU relatif à la gestion des eaux à Forest. Néanmoins, d'après les quelques entretiens avec les communes, ce ne sont pas toutes les communes qui sont favorables à l'élaboration d'un RCU. En effet, selon Mme. Lebouilleux, celui-ci représente une charge administrative supplémentaire ainsi qu'une manière de fragmenter davantage le territoire. A travers notre recherche, on a pu voir également que le RRU encadre certaines mesures relatives à la lutte contre l'ICU. Toutefois, celles-ci sont fortement orientées vers l'espace privé. L'ancienne version du projet de réforme du RRU a permis un renforcement des mesures existantes en termes de végétalisation et de gestion des eaux. Il permettait également de s'aligner à la réglementation de PEB en termes d'isolation des façades. Cette proposition de réforme demeurerait néanmoins limitée à l'espace privé et ne permettrait pas d'aller plus loin au niveau de l'espace public. De plus, la réforme sur les gabarits des bâtiments permettant de s'aligner avec les objectifs de densification du PRDD n'était pas favorable à la lutte contre l'ICU.

Par ailleurs, le fait que les règlements du RRU sont plutôt généralistes, ceux-ci sont difficilement applicables à l'espace public. En effet, il est difficile d'étendre les règles du RRU sur l'espace public vu que l'espace urbain se présente de manière hétérogène et que chaque projet doit être élaboré sur mesure, en fonction des propriétés de l'espace en question.

L'intervention sur l'espace public est de ce fait laissée à la sensibilité des acteurs publics de l'aménagement du territoire. Toutefois, les enquêtes auprès des bureaux d'études chargés des projets de conception de l'espace public a démontré un déficit d'informations préalables en lien avec la question d'ICU. Afin d'assurer une efficacité de ces interventions, les analyses microclimatiques préalables des espaces à réaménager ainsi que leur évaluation (indicateurs) seraient nécessaire à développer afin de mieux orienter les choix des bureaux d'études dans les aménagements d'espaces publics.

A ce titre, un projet pilote nommé 'Lisière d'une tierce forêt' réalisé à Aubervilliers a été mené dans le cadre du programme 'Adaptation au changement climatique' en partenariat avec La Ville de Paris, l'Agence Parisienne du Climat, l'Ademe, Eau de Paris et 100 Resilient Cities. Celui-ci a été réalisé à partir de données climatiques locales (Agence Parisienne du Climat, 2020).

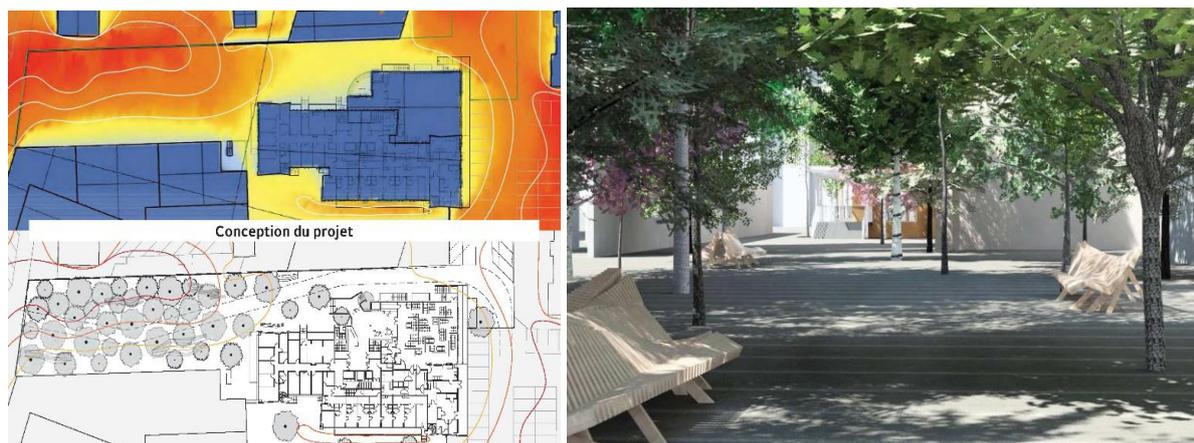


Figure 17 et 18 : Conception d'un projet d'espace public à Aubervilliers à partir de données microclimatiques. Source : Agence Parisienne du climat, 2020.

Des programmes de revitalisation urbaine en RBC tels que les CQD et les CRU s'étalant sur la zone du centre et du canal représentent une bonne opportunité d'intégrer des demandes plus ambitieuses par rapport à la lutte contre l'ICU.

Par ailleurs, le RRU actuellement en vigueur permet de définir des règles pour les nouvelles constructions et les rénovations lourdes. Toutefois, un important déficit opérationnel est également constaté sur le fond immobilier existant. Différentes primes (régionales, communales) sont données notamment pour la végétalisation des façades, la déconnexion des descentes des eaux pluviales du réseau d'égout, la rénovation, etc. Les entretiens ont également montré que ces primes ne sont pas très incitatives en raison de leur faible montant.

On a pu voir également que le PRAS permet de définir les affectations de sol en mettant en place un zonage. Celui-ci définit des larges zones d'espaces verts qui sont non constructibles. Selon M. De Bruycker, il existe actuellement une étude en cours d'élaboration nommée OPEN Brussels, à la demande des services régionaux de l'environnement et d'urbanisme bruxellois et flamands. L'étude a pour objectif de développer une vision pour un réseau d'espaces ouverts au sein et autour de la RBC et ce à travers la réalisation de corridors entre la ville et sa périphérie notamment pour favoriser la biodiversité, l'eau, la fraîcheur, l'agriculture locale, la mobilité locale, etc. Un des axes des corridors à renforcer prévu par l'étude est celui le long du canal (corridor Vallée de la Senne) et la connexion de celui-ci aux quartiers adjacents. Il existe également l'étude du Plan de Qualité Paysagère (BKP) qui traite les aménagements le long du canal avec le renforcement de la végétalisation et la mise en valeur de la Senne. Ces visions sont intéressantes pour rafraîchir le centre-ville.

Le projet de révision du PRAS pourrait présenter une opportunité afin de renforcer l'application de ces visions de renforcement de corridors verts (préservation / création). Toutefois, l'exemple de la ville de Stuttgart atteste la nécessité de larges corridors d'environ une centaine de mètre pour relier la nature environnante à l'espace de forte densité urbaine du centre et assurer par conséquent une arrivée d'air

frais et une ventilation efficace (Terrin, 2015). La configuration de la ville de Stuttgart en vallée et la préservation de couloirs de fraîcheur permet aux brises nocturnes de descendre jusqu'au centre-ville assurant ainsi son refroidissement.

Pour la RBC, la forêt de Soigne présente un grand potentiel de source des brises nocturnes. Néanmoins, la topographie privilégie la descente d'air frais vers les côtés (est et ouest) et pas vers le centre-ville (Pentagone). La forêt de soigne ne s'avère pas optimale pour refroidir le centre-ville. <sup>19</sup>

Le territoire du canal qui se trouve en fond de vallée (fortement touché par l'effet d'ICU) pourrait être refroidi pas ce principe en créant les espaces verts de taille importante à sa proximité. A l'exception du Parc de Laeken au nord, les corridors d'air froid relié avec la zone du canal sont manquants.

#### - Suivi et évaluation

Les mesures d'atténuation d'ICU devraient être suivies et évaluées régulièrement à l'aide d'indicateurs qui mettent en évidence sa progression. Ceux-ci permettent de mesurer l'évolution des impacts par rapport à l'état choisi (passé ou statu quo), en faisant un constat quantifiable et traçable.

On a pu parcourir une multitude d'indicateurs existants pouvant être utilisés pour l'évaluation de la progression de l'ICU. Néanmoins, afin que ces indicateurs soient efficaces, leur mise à jour régulière est essentielle. Certains indicateurs méritent d'être mesurés quotidiennement, annuellement ou avec un cycle régulier et toujours selon la même méthode (ou une méthode comparable) afin de suivre l'évolution de l'ICU et de pouvoir évaluer la pertinence de la mise en œuvre des stratégies choisies.

### 3.6 Limites du mémoire

Le manque de compréhension de l'ICU et de nombreuses idées reçues sur le sujet représente l'une des limites de ce travail. Cela s'applique en particulier sur les résultats de l'enquête auprès des bureaux d'études mais également chez les administrations. La connaissance générale du phénomène d'ICU est souvent associée au changement climatique même s'il s'agit d'un phénomène différent. C'est néanmoins bien le réchauffement climatique qui a permis une meilleure prise de conscience de ce phénomène.

D'autre part, la problématique d'ICU est très complexe car elle touche à différents enjeux et implique donc une multitude d'acteurs. L'organisation complexe des administrations bruxelloises morcellent davantage le sujet lui-même, mais également au niveau territorial de la région. L'autre limite consiste donc au fait que nous ne sommes pas parvenus à interroger toutes les communes. Nous avons privilégié les communes qui se trouvent au centre de la RBC et qui sont fortement touchées par l'ICU. Il faut également noter qu'au sein d'une même administration il arrive que plusieurs unités traitent le même

---

<sup>19</sup> Annexe 10

sujet d'une manière séparée. Cette division territoriale et administrative multiplie les données à traiter ce qui rend la procédure de collecte d'informations très longue et importante.

Par ailleurs, plusieurs études réalisées sur l'ICU dans les villes américaines ou européennes ne sont pas facilement applicables au contexte bruxellois. La topographie, la morphologie et le climat particulier pour chaque ville nécessitent une vérification de leurs applications au niveau de la RBC et peuvent, si mal compris, approfondir les idées reçues sur l'ICU et conduire vers les solutions palliatives. En général, le manque d'opérationnalité des solutions proposées ainsi que l'obsolescence de certaines données limitent considérablement l'avancement dans ce sujet.

## 4. Conclusion

Les différents entretiens auprès des acteurs publics ainsi que les enquêtes auprès des bureaux d'études montrent une prise de conscience de la problématique d'ICU. Néanmoins, bien que ce phénomène soit ancien et qui remonte à plus de 200 ans, cette sensibilité semble être récente. Ceci s'explique par une prise de conscience plus générale liée au changement climatique et de son effet amplificateur du phénomène d'ICU déjà existant. Face à l'urgence d'agir, la RBC ne semble pas actuellement être bien armée pour y faire face.

D'une part, il existe des mesures qui sont appliquées de manière palliative (végétalisation, gestion des eaux). D'autres mesures demeurent très peu voire pas du tout exploitées telles que les matériaux, la morphologie urbaine, rejets de chaleur anthropique.

Par ailleurs, les mesures définies par la réglementation ne visent pas l'ICU d'une manière directe. De plus, elles sont souvent obsolètes et leurs réformes prennent du temps alors qu'on est dans une urgence climatique. Les programmes publics d'aménagement urbain représentent une opportunité de la mise en place de projets exemplaires qui s'alignent aux dernières avancées en la matière pouvant ainsi dépasser les minimas des réglementations actuelles ou prévues.

Toutefois, la question d'ICU doit être considérée aux différents stades de diagnostic, de mise en œuvre et de suivi. Or, il existe actuellement un déficit au niveau de ces différents stades ne permettant pas un encadrement adéquat de la lutte contre l'ICU ni au niveau local ni régional. Le déficit en termes des phases de diagnostic et de suivi représente également un frein pour les bureaux d'étude qui, pour élaborer des projets répondant à la question d'ICU, devraient avoir des informations et analyses préalables en la matière.

Par ailleurs, la question de lutte contre l'ICU est transversale et touche à plusieurs domaines. Elle nécessite un renforcement de coordination entre les différents acteurs à plus grande échelle. Cela concerne particulièrement les projets publics lesquels, contrairement aux projets privés où le nombre

d'intervenants est limité au demandeur du permis et l'institution qui le délivre, une multitude d'intervenants est nécessaire.

De manière objective, on a pu constater à travers différentes études d'autres villes que les zones les plus touchées se trouvent toujours au niveau des centres-villes ou des zones industrielles. Or, le champ d'action est souvent très limité à ces endroits en raison de la valeur historique et patrimoniale, du manque d'espace disponible ou des enjeux économiques. Pour les friches en reconversion, une forme urbaine prenant en compte l'ICU peut répondre à la problématique de confort thermique néanmoins le principe de restructuration du tissu urbain peut s'avérer difficile à appliquer dans le tissu urbain existant.

Du fait que la marge d'intervention soit très limitée dans le tissu urbain existant, l'attention doit être portée à la planification et la préservation des espaces libres disponibles. L'exemple de Stuttgart montre l'importance de planification 'climatologique' de long terme et la nécessité de préserver des espaces non constructibles reliant la zone du centre-ville vers la périphérie.

D'autre part, il faut améliorer les outils existants et leur corrélation. Pour la RBC, la reconversion de la zone du canal représente une réelle opportunité. La densification prévue sans prise en compte du climat urbain pourrait aggraver l'ICU existant et y remédier serait extrêmement difficile dans le futur.

## 5. Bibliographie

- Agence Parisienne du Climat. (2020, 17 juillet). *Une forêt en ville pour lutter contre l'îlot de chaleur urbain* <https://www.apc-paris.com/actualite/foret-ville-pour-lutter-contre-lilote-chaleur-urbain>
- Apur. (2012). *Les îlots de chaleur urbains à Paris. cahier #1. 40p.*
- Bernier, D. (2021). *Comment décarboner la mobilité en ville*. Cool planning. For Urban Passion. 21 Octobre 2020. Disponible sur youtube <https://www.youtube.com/watch?v=0aHzIAnXvJ8&t=34s>
- Bournez, E. (2018). *Etude du rôle de la végétation dans la création de microclimats urbains – Approche combinée de mesures et de modélisations à différentes échelles*. Thèse de doctorat (G. Najjar dir.). Université de Strasbourg. 238 p.
- Born, C-H. (2018). *Adaptation au changement climatique et résilience des territoires : le droit wallon de l'urbanisme à la traîne ?*. Aménagement - environnement : urbanisme et droit foncier. Vol. 2018, no. 4. p. 120-147
- Bruxelles Environnement. (2021). *Qui sommes-nous ?* [En ligne] <https://environnement.brussels/bruxelles-environnement>
- Bruxelles mobilité. (2021). *Qui sommes-nous ?* [En ligne] <https://mobilite-mobiliteit.brussels/fr/qui-sommes-nous>
- Chevet, P. F., Bériot, N. (dir.). (2010). *Villes et adaptation au changement climatique*. La documentation française. 221p.
- CoBAT. (2017). *Vade-mecum de la réforme du CoBAT DPR 2014-2019*. Bruxelles Urbanisme et Patrimoine. SPRB. 98 p. [En ligne] <https://urbanisme.irisnet.be/pdf/cobat/2017-12-13-vade-mecum-fr-reforme-cobat-bup-s.pdf>
- Colombert, M., Salagnac, J-L., Morand, D., Diab, Y. (2012, Mai). *Le climat et la ville : la nécessité d'une recherche croisant les disciplines*. Vertigo – la revue électronique en science de l'environnement (Hors série. 12), 15p. [En ligne] <https://journals.openedition.org/vertigo/11811>
- Colombert, M. (2008). *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, thèse de doctorat (Y. Diab dir.). Université Paris-Est. 540 p.
- Delmas, R., Chauzy, S., Verstraete, J-M., Ferré, H. (2007). *Atmosphère, océan et climat*. Belin. 287p.
- De Ridder, K., Couderé, K., Depoorter, M., Liekens, I., Pourria, X., Steinmetz, D., Vanuytrecht, E., Verhaegen, K. Wouters, H. (2020). *Evaluation of the socio-economic impact of climate change in Belgium*. The National Climate commission. 253p.
- Doick, K.J., Peace, A., Hutchings, T.R. (2014). *The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island*. Science of the Total Environment (Vol.493). pp. 662-671.
- Filiatreault, Y. (2015). *Changement climatique et îlots de chaleur : Indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation*. maîtrise en gestion de l'environnement (D. Dionne dir.). Université de Sherbrooke. 93 p.
- Foissard, X. (2015). *L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique*. thèse de doctorat (V. Dubreuil dir.). Université Rennes 2. 248 p.

Guide Bâtiment Durable. (2019, 02 décembre). *Favoriser la biodiversité – Evaluation du projet via le CBS +*. Bruxelles Environnement. <https://www.guidibatimentdurable.brussels/fr/1-evaluation-du-projet-via-le-cbs.html?IDC=7291>

Guide Bâtiment Durable. (2020, 05 octobre). *Vademecum réglementation travaux PEB à partir de Juillet 2017 – Exigence surchauffemax*. Bruxelles Environnement. <https://www.guidibatimentdurable.brussels/fr/vademecum2017-2-exigence-surchauffemax.html?IDC=10875>

Hamadi, N. (journaliste). (2020, Novembre). *Villes. La fin d'un modèle ? [débat]*. Dans N.Letroll (réalisateur), Vox Pop. Disponible sur youtube : <https://www.youtube.com/watch?v=4y5G14JTmeQ&t=240s>

Hamdi, R., Giot, O., Berckmans, J., De Troch, R., Deckmyn, P., Termonia, P. (2015). *Future climate of Brussels and Paris for the 2050s under the A1B scenario*. Urban Climate (Vol.12), pp. 160-182.

Hamdi, R., Duchêne, F., Berckmans, J., Delcloo, A., Vanpoucke, C., Termonia, P. (2016). *Evolution of urban heat wave intensity for the Brussels Capital Region in the ARPEGE-Climat A1B scenario*. Urban Climate (Vol.17), pp. 176-195.

Hirsch, Y. (2017). *Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain et recherche d'une solution paysagère pour le site de la résidence Damrémont à Paris*. Master architecture du paysage à finalité spécialisée (J. Bogaert dir.). Gembloux Agro-Bio Tech. 91 p.

Institut Royal Météorologique de Belgique. (2020). *Rapport climatique 2020 – De l'information aux services climatiques*. 92p. [En ligne] <https://www.meteo.be/uploads/media/5f7c66570cae5/fodb17-0001-raclimat2020-a4-fr-v6-web.pdf?token=/uploads/media/5f7c66570cae5/fodb17-0001-raclimat2020-a4-fr-v6-web.pdf>

Konasova, S. (2017). *The role of green roofs to mitigate urban heat island effect*. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. pp. 1047–1054.

Lauwaet, D., Maiheu, B., De Ridder, K., Boëne, W., Hooyberghs, H., Demuzere, M., Verdonck, M.L. (2020). *A new method to assess fine-scale outdoor thermal comfort for urban agglomerations*. Climate 2020, 8, 6. 13p.

Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., Van Lipzig, N.P.M., Maiheu, B., Hooyberghs, H., (2015). *Assessing the current and future urban heat island of Brussels*. Urban Climate (Vol.15). pp. 1-15.

L'Echo. (2019, 10 aout). *Bruxelles veut supprimer 65000 places de parking en voirie*. <https://www.lecho.be/dossier/mobilite/bruxelles-veut-supprimer-65-000-places-de-parking-en-voirie/10152617.html>

Najjar, G., Kastendeuch, P., Grussenmeyer, P. (2010). *Topographie et climatologie urbaine*. Revue XYZ (N°123- 2e trimestre 2010), pp. 33-40.

Nations Unies. (2019, 17 Juin). *Deux milliards de personnes de plus sur la Terre en 2050, selon l'ONU*. <https://news.un.org/fr/story/2019/06/1045681>

Perspective.brussels. (2021). *Qui sommes-nous ?* [En ligne] <https://perspective.brussels/fr/qui-sommes-nous/propos/nos-missions>

- Plan de Gestion de l'Eau de la Région de Bruxelles Capitale 2016-2021. (2015). *Résumé non technique*. Bruxelles. Environnement. 28 p. [En ligne] [https://document.environnement.brussels/opac\\_css/electfile/Plan\\_Gestion\\_Eaux\\_nontechn\\_FR](https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/Plan_Gestion_Eaux_nontechn_FR)
- PRAS. *Prescriptions littérales légales du PRAS*. [En ligne] <http://urbanisme.irisnet.be/lesreglesdujeu/les-plans-daffectation-du-sol/le-plan-regional-daffectation-du-sol-pras/prescriptions>
- PRAS démographique. (2013). *Brochure explicative*. [En ligne] <https://urbanisme.irisnet.be/pdf/pras/brochure>
- Règlement Communal d'Urbanisme. *Règlement communal d'urbanisme en matière de gestion des eaux pluviales*. [http://urbanisme-bruxelles.hsp.be/sites/urbanisme-bruxelles.hsp.be/files/RCU\\_FORET\\_Eaux%20pluviales.pdf](http://urbanisme-bruxelles.hsp.be/sites/urbanisme-bruxelles.hsp.be/files/RCU_FORET_Eaux%20pluviales.pdf)
- RIE du RRU. (2018). *Rapport sur les incidences environnementales du RRU*. Bruxelles Urbanisme et Patrimoine. SPRB. 505 p.
- Règlement Régional d'Urbanisme. (2006). *Titre I caractéristiques des constructions et de leurs abords*. Ministère de la Région de Bruxelles Capitale. Administration de l'Aménagement du Territoire et du Logement. 28 p. [En ligne] [http://urbanisme.irisnet.be/pdf/RRU\\_Titre\\_1\\_FR.pdf](http://urbanisme.irisnet.be/pdf/RRU_Titre_1_FR.pdf)
- Règlement Régional d'Urbanisme. (2006). *Titre VII la voirie ses accès et ses abords*. Ministère de la Région de Bruxelles Capitale. Administration de l'Aménagement du Territoire et du Logement. 28 p. [En ligne] [http://urbanisme.irisnet.be/pdf/RRU\\_Titre\\_7\\_FR.pdf](http://urbanisme.irisnet.be/pdf/RRU_Titre_7_FR.pdf)
- Rovers, T.J.H. (2016). *The Impacts of Urban Heat Islands on Northwestern European Cities - Characterising the heat island intensity based on land use data*. Master's thesis. Luleå University of Technology Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. 56 p.
- Solans, A., Bonnetien, G. (2018). *Le défi climatique des villes. Vers des métropoles françaises alignées avec l'accord de Paris*. WWF France et EcoAct. [https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-07/20180704\\_Etude-defi-climatique-villes.pdf](https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-07/20180704_Etude-defi-climatique-villes.pdf)
- Solé, J. (2021). *Transition bas carbone : un momentum à saisir*. CEDD. 29 septembre 2020. Disponible sur youtube <https://www.youtube.com/watch?v=zGFgu-R6jXc&t=1160s>
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R. (2011). *Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs*. Environmental Pollution (Vol.159). pp. 2119–2126.
- Terrin, J-J. (dir.). (2015). *Villes et changement climatique – Ilots de chaleur urbains*. Parenthèses. 285p.
- Urban.brussels. (2021). *Qui sommes-nous ?* [En ligne] <https://urban.brussels/fr/about>
- Vairet, T. (2016). *Urbanisme et îlot de chaleur urbain : mécanisme et leviers d'action. Etude de cas sur la communauté de Dijon*. master 2 TMEC (T. Thevenin dir.). Université Bourgogne Franche-Comté. 94 p.
- Valette, E., Cordeau, E. (2010). *Les îlots de chaleur urbains à Paris – Répertoire de fiches connaissance*. Institut d'Aménagement et d'Urbanisme – île de France. 58p. [En ligne] [https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude\\_774/Les\\_ilots\\_de\\_chaleur\\_urbains\\_REPERTOIRE.pdf](https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_ilots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf)

- Valette, E., Cordeau, E., Magdelaine, C. (2010). *Les îlots de chaleur urbains à Paris – L’adaptation des villes aux chaleurs urbaines*. Institut d’Aménagement et d’Urbanisme – île de France. 81p. [En ligne]  
[https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude\\_768/les\\_îlots\\_de\\_chaleur\\_urbains\\_Adaptation\\_de\\_la\\_ville\\_aux\\_chaleurs\\_urbaines.pdf](https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_768/les_îlots_de_chaleur_urbains_Adaptation_de_la_ville_aux_chaleurs_urbaines.pdf)
- Van Cameren, V., Weikmans, R., Zaccai, E. (2014). *L’adaptation au changement climatique*. La découverte. 123p.
- Van De Voorde. T., Canters, F., Cheung-Wai Chan, J. (2010). *Mapping update and analysis of the evolution of nonbuilt (green) spaces in the Brussels Capital Region*. VUB.  
[https://document.environnement.brussels/opac\\_css/electfile/Study\\_NonBuildSpaces\\_I\\_II\\_en.PDF](https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/Study_NonBuildSpaces_I_II_en.PDF)
- Vanhuysse. S., Depireux, J., Wolff. E. (2006). *Etude de l’évolution de l’imperméabilisation du sol en Région de Bruxelles-Capitale*. ULB/IGEAT.  
[https://document.environnement.brussels/opac\\_css/electfile/STUD\\_2006\\_ImpermeabiliteSolsRBC](https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/STUD_2006_ImpermeabiliteSolsRBC)
- Vitruve. (1837). *Les dix livres d’architecture de Vitruve*. Edition de Tardieu et Coussin Fils. Paris. 685p.
- Tison, J.L. (2018, mars). *Cours Climat : Sciences et Politique*. Master en gestion de l’environnement. IGEAT.
- Wang, Y., Akbari, H. (2016). *Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal urbaine*. Sustainable Cities and Society (Vol.26). pp. 438–446.
- Wang, Y., Berardi, U., Akbari, H. (2015). *Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada*. Energy and buildings (Vol.114). pp. 2–19.
- WWF Canada. (2012, 14 décembre). *La vie des arbres en milieu urbain*. <https://wwf.ca/fr/stories/la-vie-des-arbres-en-milieu-urbain/>
- Zaccai, E. (2021, 11 mars) « Deux degrés : les sociétés face au changement climatique », l’homme et son environnement. Disponible sur youtube :  
[https://www.youtube.com/watch?v=K1\\_vTGbel8w&t=1901s](https://www.youtube.com/watch?v=K1_vTGbel8w&t=1901s)

## 6. Annexes

### Annexe 1: Guide d'entretien

Les mesures de lutte contre l'îlot de chaleur urbain étant aujourd'hui bien identifiées (d'une manière qualitative) dans la littérature scientifique (végétalisation, déminéralisation, propriétés des matériaux de construction à albédo élevé et de faible capacité thermique, actions sur la morphologie urbaine, diminution des rejets de chaleur anthropique), je m'intéresse dans le cadre de ce mémoire particulièrement à la manière dont ces mesures peuvent être systématisées (aspect quantitatif). Pour cela je réalise une enquête auprès des institutions publiques chargées de la planification urbaine sur les outils réglementaires et stratégiques (existants) de la mise en place de ces mesures en région de Bruxelles Capitale ainsi que les outils d'évaluation de ceux-ci afin de contrôler la progression de l'îlot de chaleur urbain et leurs éventuelles évolutions / réformes.

Je m'intéresse en particulier aux questions suivantes :

- Q1 : présentation, rôle
- Q2. Quelles sont les politiques / stratégies que vous menez en termes de lutte contre l'îlot de chaleur urbain ?
- Q3. : La cartographie de localisation spatio-temporelle des îlots de chaleur urbain réalisée par l'IRM (Hamdi et al.) montre que le ICU le plus intense se trouve au centre-ville (notamment le long du canal). Y a-t-il des mesures / stratégies particulières existantes ou prévues pour ce territoire ?
- Q4. Le RRU et le PRAS traitent d'une manière indirecte le problème d'îlot de chaleur (par exemple à travers les articles 11, 13 et 16 du RRU et les prescriptions 02 et 06 du PRAS). Pensez-vous que cette réglementation soit suffisante pour la RBC ?
- Q5. : Le RRU et le PRAS sont en cours de révision. Avez-vous des demandes d'intégration particulières de la question de lutte contre l'îlot de chaleur urbain. Si oui, pourriez-vous les préciser ?
- Q6 : Observez-vous actuellement des obstacles/difficultés dans l'application des mesures de lutte contre l'îlot de chaleur urbain. Si oui, lesquels ?
- Q7 : Existe-t-il des outils / indicateurs dont vous vous servez pour évaluer la distribution spatiale de l'îlot de chaleur urbain et sa progression (carte satellite chaque année, carte d'imperméabilisation actualisée chaque année, station météorologique). En cas de non-existence, envisagez-vous le développement de ce type d'outils dans le futur.
- Q8. : Thématiques : maillage vert, bleu, morphologie urbaine, albédo, diminution de rejets de chaleur anthropiques (bâtiment, transport) ...

## Annexe 2 : Questionnaire en ligne

Connaissez-vous le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU)

Q1 : La lutte contre les ICU est-elle prise en compte dans vos projets d'aménagements urbains?

Q2 : Savez-vous quelles zones de la Région de Bruxelles Capitale (RBC) sont les plus touchées par l'ICU ? si oui pourriez-vous les citer ?

Q3 : Procédez-vous de la même manière dans le traitement de la question de lutte contre l'ICU quelque soit la localisation du projet en RBC ?

Q4 : Avez-vous des projets récents réalisés à Bruxelles intégrant des mesures d'atténuation d'ICU ? Si oui, pourriez-vous les citer ?

Q5 : Constatez-vous une évolution dans la prise en compte de ce phénomène au cours de ces dernières années dans les projets d'aménagement urbain ?

Q6 : Quelles pratiques mettez-vous en place pour lutter contre l'ICU?

Q7 : A quelles réglementations / plans / stratégies bruxellois, vous appuyez-vous pour le traitement de la question d'ICU?

Q8 : Utilisez-vous d'autres documents non réglementaires élaborées par les administrations bruxelloises de type recommandations, mémento, Vademecum, etc. Si oui, pourriez-vous les citer ?

Q10 : Utilisez-vous des outils comme le CBS, BREEAM ou autres lors de l'élaboration de vos projets ?

Q11 : Avez-vous participé ces dernières années à des formations / colloques traitant la problématique d'ICU à Bruxelles ? Si oui, pourriez-vous les citer et mentionner l'organisateur ?

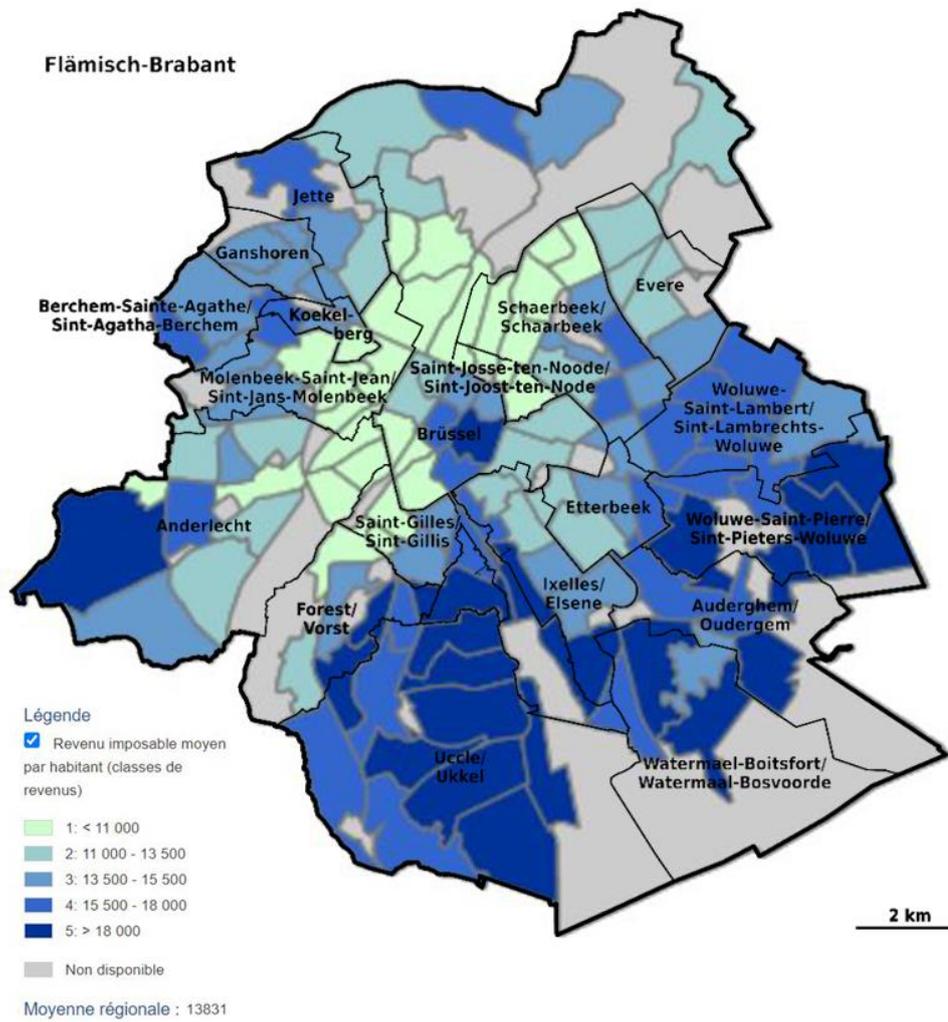
Q12 : Avez-vous participé ces dernières années à des formations / colloques traitant les questions de gestion des eaux, de la biodiversité / végétation en ville, ou similaire à Bruxelles? Si oui, pourriez-vous les citer et mentionner l'organisateur ?

Q13 : Trouvez-vous des contraintes par rapport à l'application des mesures de lutte contre l'ICU ? Si oui, pourriez-vous les citer ?

Q14 : Pensez-vous que la problématique d'ICU est mieux prise en compte dans d'autres régions / pays? Si oui, dans quelle mesure?

Q15 : Avez-vous des commentaires à ajouter à ce sujet?

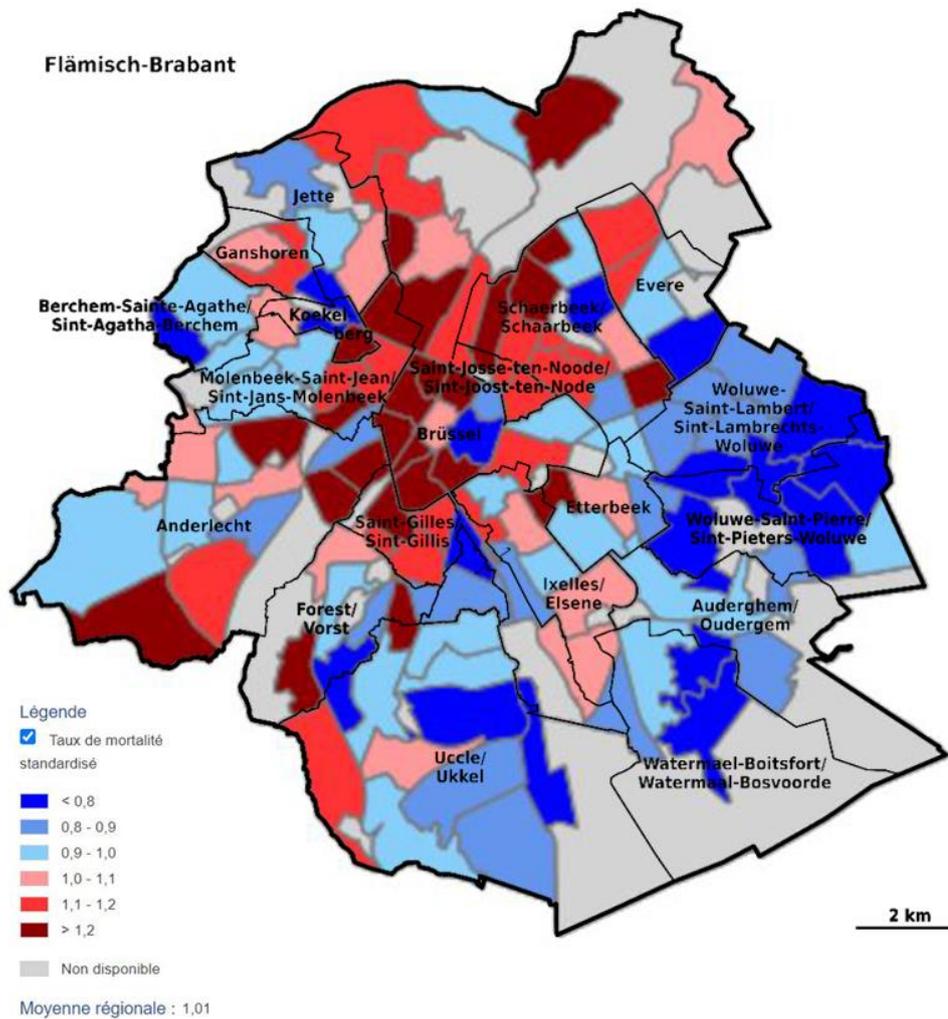
### Annexe 3 : Revenu imposable médian des déclarations (2018)



Source : Monitoring des quartiers

<https://monitoringdesquartiers.brussels/maps/statistiques-revenus-bruxelles/revenus-fiscaux-region-bruxelloise/revenu-median-des-declarations/1/2018/>

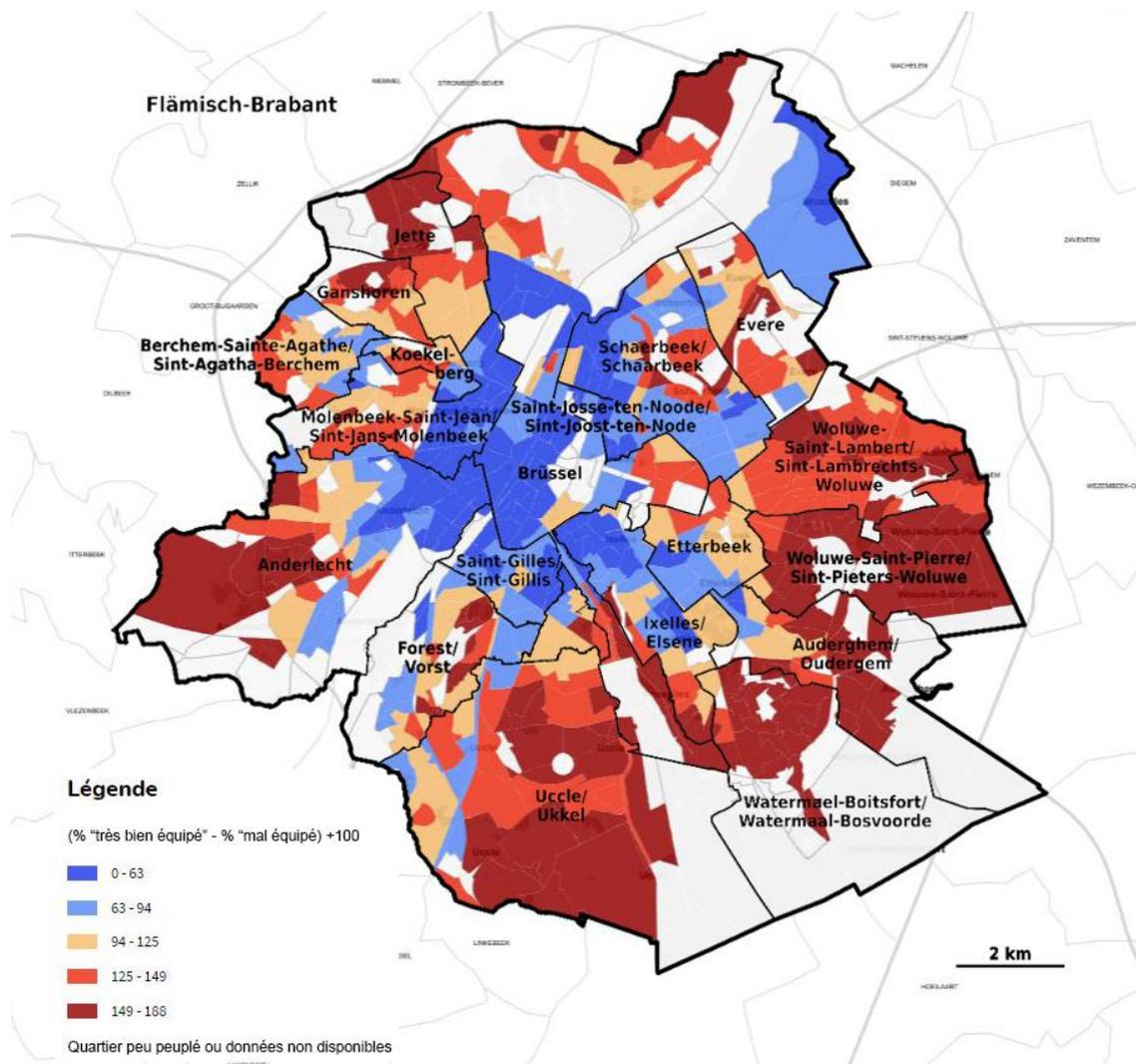
## Annexe 4 : Taux de mortalité standardisé (2004)



Source : Monitoring des quartiers

<https://monitoringdesquartiers.brussels/maps/statistiques-sante-bruxelles/mortalite-region-bruxelloise/taux-de-mortalite-standardise/1/2004/>

## Annexe 5 : Appréciation de l'offre en espace verts (2001)



Source : Atlas. Bruxelles Environnement

[https://geodata.environnement.brussels/client/view/1e869715-e7d6-4208-9c7873066cbc771b?\\_ga=2.252761161.1795576940.1625916497-1678442097.1624284834](https://geodata.environnement.brussels/client/view/1e869715-e7d6-4208-9c7873066cbc771b?_ga=2.252761161.1795576940.1625916497-1678442097.1624284834)

## Annexe 6 : CBS+

Les CBS+ de ces différents dispositifs sont établis en fonction de leur valeur écologique, et exprimés dans le tableau qui suit.

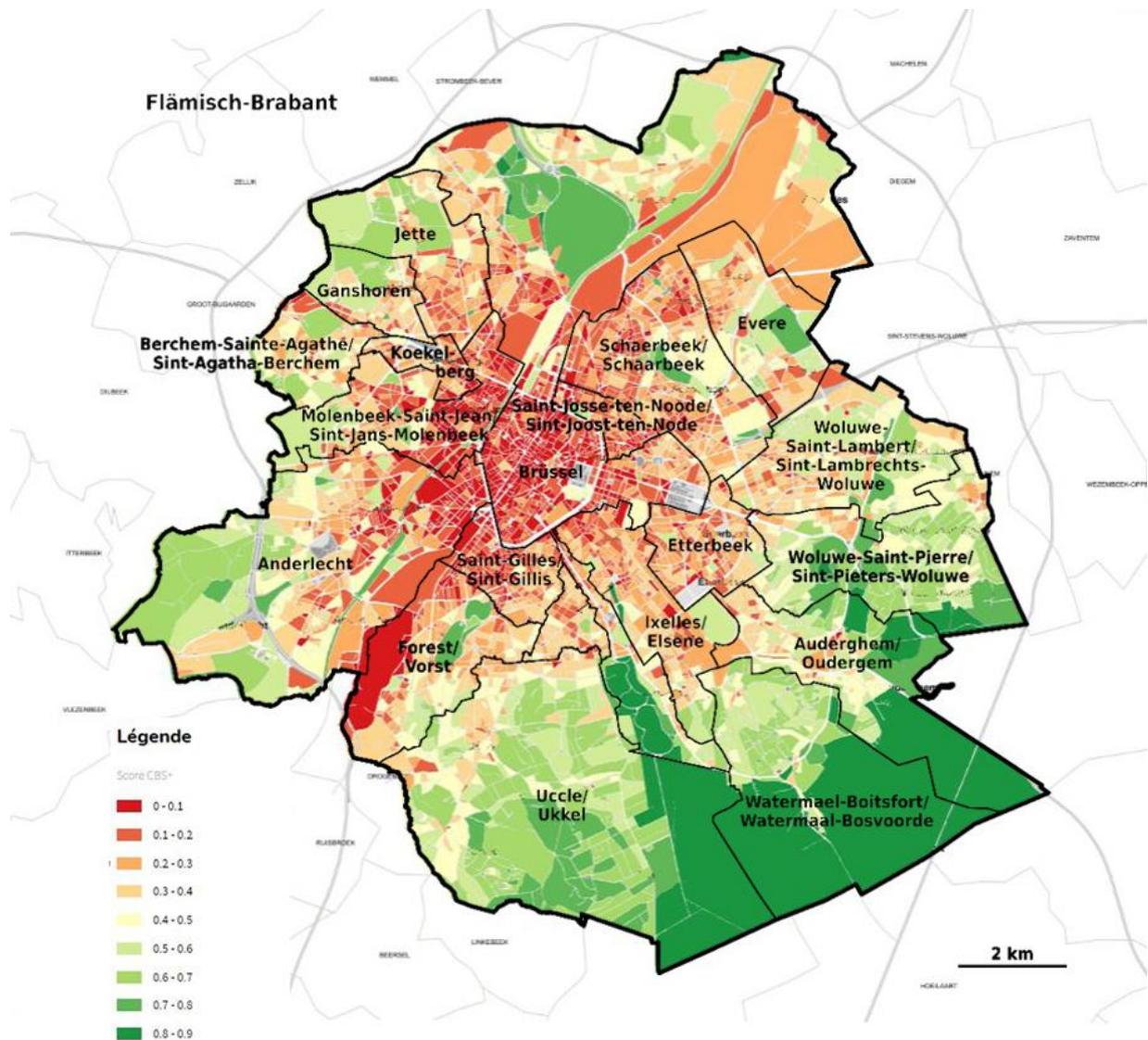
Habitats	Type de surface	CBS+
Zones en eau	Plan d'eau minéralisé <i>Plan d'eau sans végétation et sans substrat (les piscines classiques ne rentrent pas dans cette catégorie et sont à considérer comme des surfaces artificielles).</i>	0,2
	Plan d'eau naturel <i>Tout plan d'eau (mare, étang...) qui possède suffisamment de substrat pour assurer le développement de la végétation.</i>	0,8
Zones artificialisées imperméables	Surfaces artificielles <i>Revêtement imperméable pour l'air et l'eau, sans végétation (par ex. béton, bitume, pavés/dalles avec joints cimentés).</i>	0
Aires (semi-)perméables	Pavages/Dallages à joints ouverts/Graviers <i>Revêtement de surface pourvus d'arêtes ou d'écarteurs permettant, une fois posés, de créer des joints plus larges pouvant être remplis de graviers ou de substrat et éventuellement végétalisés</i> <i>Ex: cailloux de pierre naturelle, concassés de carrière...</i>	0,1
	Systèmes alvéolaires engazonnés <i>Dalles ajourées en plastique ou en béton et végétalisées. Les systèmes alvéolaires, s'ils sont remplis de graviers sont à considérer comme des graviers.</i>	0,2
Constructions végétalisées	Végétation sur dalle (ép. substrat 5 - 10 cm) <i>Végétation sans relation avec le sol mais comportant une épaisseur de substrat de moins de 10cm. Il peut s'agir, par exemple, de toitures végétales ou de végétalisation sur dalle de parking.</i>	0,3
	Végétation sur dalle (ép. substrat 10 - 20 cm) <i>Végétation sans relation avec le sol mais comportant une épaisseur de substrat de 10 à 20cm. Il peut s'agir, par exemple, de toitures végétales ou de végétalisation sur dalle de parking.</i>	0,4
	Végétation sur dalle (ép. substrat > 20 cm) <i>Végétation sans relation avec le sol mais comportant une épaisseur de substrat de plus de 20cm. Il peut s'agir, par exemple, de toitures végétales ou de végétalisation sur dalle de parking.</i>	0,5
Espaces verts en pleine terre	Pelouse <i>Surface résultant de l'ensemencement de gazon donnant un tapis vert, homogène, peu ou non fleuri.</i>	0,6
	Massif de fleurs / Prairie fleurie / Potager pleine terre <i>Surface semi-naturelle, ensemencée ou plantée avec une grande variété de fleurs ou d'espèces destinées à la culture vivrière.</i>	0,8
	Zone arbustive et arborée/Haie <i>Surface plantée d'espèces d'arbustes et/ou d'arbres. Les haies d'arbustes ou d'arbres sont également intégrées dans cette catégorie.</i>	0,9

Source : Bruxelles Environnement

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/1-evaluation-du-projet-via-le-cbs.html?IDC=7291>

## Annexe 7 : Carte du CBS+ de la situation existante (2020)

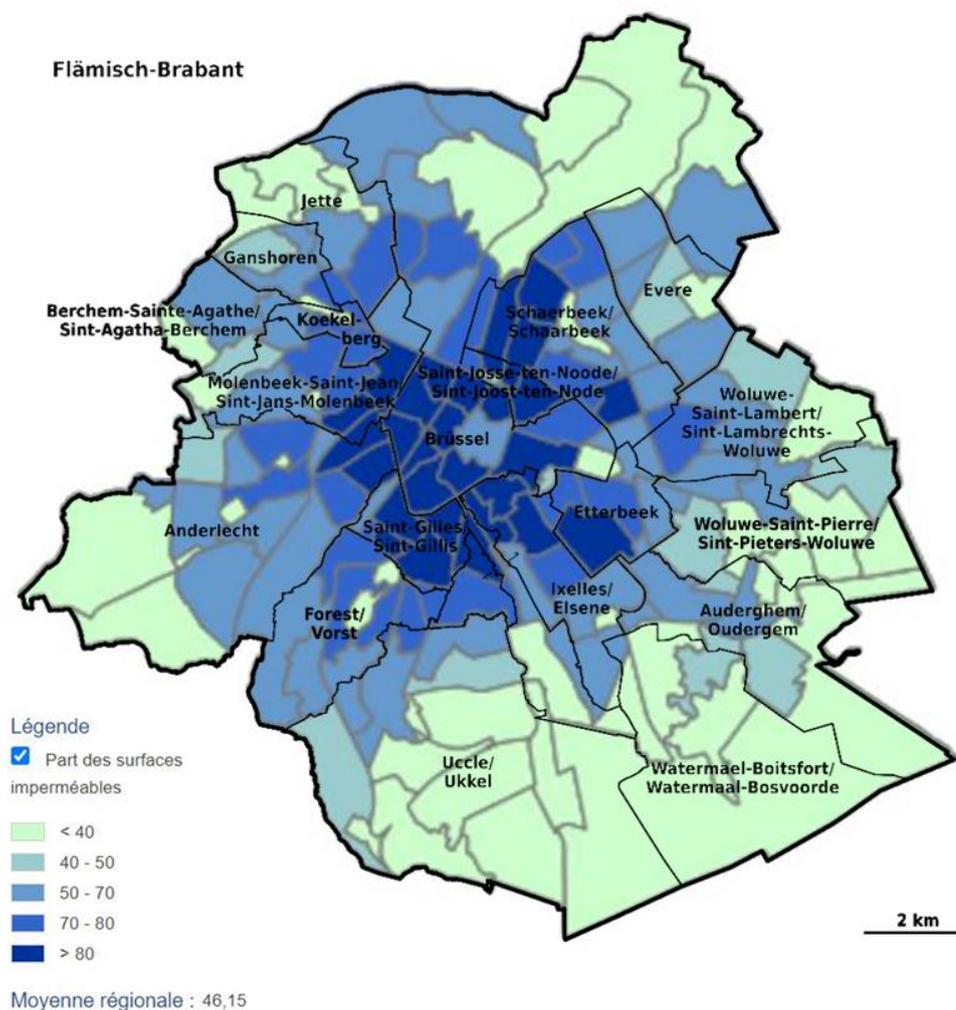
Estimation du score de coefficient du potentiel de biodiversité par surface (CBS+) pour chaque îlot bâti.



Source : Atlas. Bruxelles Environnement

<https://geodata.environnement.brussels/client/view/b70db97e-daf4-4bc2-b8fd-6f1018a6c779>

## Annexe 8 : Carte d'imperméabilisation des sols en pourcentage (2006)



Source : Monitoring des quartiers

<https://monitoringdesquartiers.brussels/maps/statistiques-environnement-bruxelles/espaces-verts-region-bruxelloise/part-des-surfaces-impermeables/1/2006/>

# Annexe 9 : Formulaire de demande de permis d'urbanisme (annexe 1)

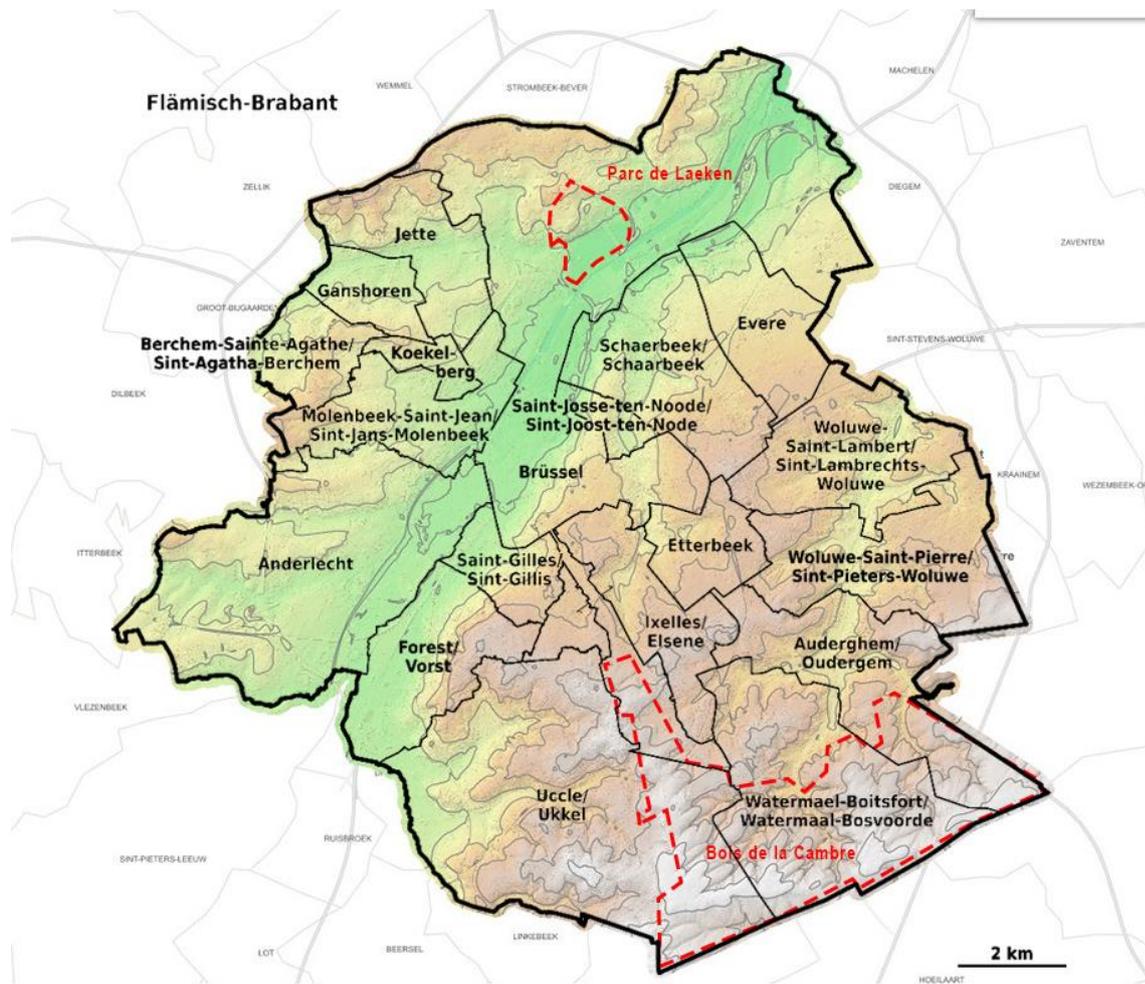
## Extrait concernant le cadre IX

CADRE IX Actes et travaux d'infrastructure et/ou d'aménagement urbain et/ou d'aménagement d'espace vert			
<b>VOIRIES :</b>		<b>Propriété</b>	
<b>Hiérarchie</b> <input type="checkbox"/> résidentielle <input type="checkbox"/> interquartier <input type="checkbox"/> locale <input type="checkbox"/> principale		<input type="checkbox"/> communale <input type="checkbox"/> privée <input type="checkbox"/> régionale <input type="checkbox"/> autre : .....	
<b>Nature des travaux</b> voirie : <input type="checkbox"/> à créer <input type="checkbox"/> en totalité (de façades à façades) <input type="checkbox"/> à rénover/modifier <input type="checkbox"/> en totalité (de façades à façades) <input type="checkbox"/> en partie du profil en travers <input type="checkbox"/> en partie du profil en travers			
<b>Aménagement</b>		Type de revêtement	
Aire d'intervention ( <i>superficie totale en m<sup>2</sup></i> ) - pleine terre ( <i>superficie totale en m<sup>2</sup></i> ) - revêtement semi-perméable ( <i>superficie totale en m<sup>2</sup></i> ) - revêtement imperméable ( <i>superficie totale en m<sup>2</sup></i> ) Berme/pelouse ( <i>m<sup>2</sup></i> ) Berme/pelouse ( <i>m linéaires</i> ) Arbre à haute tige ( <i>nombre</i> ) Arbre à haute tige ( <i>essence</i> ) (NB : en cas d'essences variées, fournir un tableau similaire complémentaire, en annexe)		Existant    Projeté Existant    Projeté    Existant    Projeté	
<b>Voirie (m<sup>2</sup>) dont :</b> - chaussée carrossable ( <i>m<sup>2</sup></i> ) - chaussée carrossable ( <i>m linéaires</i> ) - stationnement global ( <i>m linéaires</i> ) - stationnement global ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - stationnement PMR ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - stationnement taxi ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - stationnement voitures partagées ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - stationnement vélos ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - station de vélos partagés ( <i>nombre d'emplacements</i> ) - zone de livraison ( <i>m linéaires</i> ) - piste cyclable marquée ( <i>m linéaires</i> ) - arrêt de transports en commun ( <i>nombre et m linéaires</i> ) - site propre transports en commun uniquement ( <i>m linéaires</i> ) - site propre transports en commun + taxis ( <i>m linéaires</i> ) - site propre transports en commun + vélos ( <i>m linéaires</i> ) - Trottoir ( <i>m<sup>2</sup></i> ) - Trottoir ( <i>m linéaires</i> ) - Trottoir cyclo-piéton ( <i>m<sup>2</sup></i> ) - Trottoir cyclo-piéton ( <i>m linéaires</i> )			
<b>ECLAIRAGE PUBLIC</b>		Type de revêtement	
Typologie (ex : console, poteau, axiale, ...) Longueur ( <i>m linéaires</i> ) Points lumineux ( <i>nombre</i> ) Consommation ( <i>kw/h</i> )		Existant    Projeté Existant    Projeté	
<b>COURS ET ETENDUES D'EAU</b>		Type de revêtement	
Curage d'un cours d'eau ( <i>m linéaires</i> ) Curage d'une étendue d'eau ( <i>m<sup>2</sup></i> ) Restauration des berges ( <i>m linéaires</i> ) Restauration d'un cours d'eau voûté ( <i>m linéaires</i> ) Remise à ciel ouvert ( <i>m linéaires</i> )		Existant    Projeté Existant    Projeté	
<b>ESPACES « VERTS »</b>		Type de revêtement	
<input type="checkbox"/> public <input type="checkbox"/> privé Types d'espace « vert » (ex : parc, bois, terrain de sport, etc.) Superficie de l'espace « vert » ( <i>m<sup>2</sup></i> ) Taux d'imperméabilisation Emprise des travaux ( <i>m<sup>2</sup></i> ) Type de travaux		Existant    Projeté <input type="checkbox"/> création <input type="checkbox"/> modification/rénovation <input type="checkbox"/> suppression	

Source : urban.brussels

<https://urbanisme.irisnet.be/lepermisurbanisme/la-demande-de-permis/2021/formulaire-fr-annexe-1-pu-0421.pdf>

## Annexe 10 : Topographie



Source : Brugis

<https://gis.urban.brussels/brugis/#/>