

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

Anticiper la lutte contre les îlots de chaleur dans les opérations immobilières neuves.



Sous la direction de monsieur Éric THOMAS (tuteur pédagogique) et madame Cécile BOUILLET (tutrice professionnelle)
EHLRACHER Julie

ANTICIPER LA LUTTE CONTRE LES ÎLOTS DE CHALEUR DANS LES OPÉRATIONS IMMOBILIERES NEUVES

**Directeur de recherche
Monsieur Éric THOMAS**

**Auteur
EHLACHER Julie**

2020-2021

AVERTISSEMENT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier mes deux tuteurs monsieur Éric THOMAS et madame Cécile BOUILLET qui m'ont accompagnée tout au long de ce travail avec bienveillance et écoute en dépit de contexte particulier. Ils m'ont permis de mener à bien mes ambitions pour ce sujet qui me tient à cœur.

Merci à monsieur Abdelillah HAMDOUCH qui m'a soutenue et aiguillée dans ma démarche de recherche et qui me soutient dans mes projets professionnels.

Également, un grand merci à monsieur Mohamed AMJAHDI qui m'a fourni une documentation précieuse ainsi que l'opportunité de participer à un webinaire qui s'est trouvé être une mine d'informations.

Je tiens également à remercier madame VERROT Marie qui, grâce à sa démarche Naturellement, m'a inspirée et m'a aiguillée dans le choix de mon sujet.

Et pour finir, merci aussi à monsieur CAILLAVET Valentin pour sa disponibilité et son temps lors d'une interview sur le projet Natura City.

Table des matières

Introduction.....	9
PARTIE 1 : Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?	11
1. Une définition	11
2. Un retour historique.....	11
3. Approche physique et compréhension du phénomène	11
4. Les causes de l'effet îlot de chaleur	13
5. Les conséquences.....	15
6. Le microclimat des villes, pas qu'une question d'îlots de chaleur	16
PARTIE 2 : Quelles sont les solutions pour prévenir/lutter contre l'effet îlot de chaleur ?	17
1. Les Solutions Vertes et Bleues et Brunnes	17
a. L'Eau	17
b. La Végétation	18
2. Les Solutions Grises – Les infrastructures urbaines	21
a. L'Ombre	21
b. Une Gestion Raisonnée de l'Espace	22
c. La Perméabilité Aéraulique – l'Aménagement Urbain – la Morphologie Urbaine.....	23
d. Les Matériaux.....	23
3. Le Biomimétisme – l'Innovation	25
PARTIE 3 : Exemple d'opérations immobilières existantes.	26
1. Un EcoQuartier à Longvic, Dijon	26
2. Un Quartier Durable d'une ZAC à Luciline-Rives de Seine, Normandie	27
3. Un EcoQuartier à Clichy, Ile de France	28
Conclusion	29
SOURCES / BIBLIOGRAPHIE	30

Introduction

L'ONU lance une nouvelle alerte concernant la hausse des températures. En effet, d'après les études menées, l'année 2020 est l'une des trois années les plus chaudes jamais enregistrée. Alors que l'Accord de Paris signé en décembre 2015 a engagé 195 pays à limiter la hausse de la température à 1,5°C, l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) nous avertit sur le fait qu'il y a une chance sur cinq pour que la température mondiale dépasse de façon temporaire les 1,5°C fixé d'ici 2024.

*« L'équilibre écologique de la planète est rompu »
« L'humanité fait la guerre à la nature, c'est suicidaire »*

Antonio Guterres, secrétaire général de l'ONU

À l'heure où les menaces climatiques sont de plus en plus présentes et prennent une place conséquente dans le développement territoriale, il est intéressant de se poser la question des stratégies de chaque secteur et en particulier celui de l'habitat. En effet, retravailler le tissu urbain pour le rendre durable et résilient passe par une réflexion approfondie sur de nouvelles manières de construire ainsi qu'une rénovation¹(*Laurence Eymard, juillet 2020, The Conversation*).

Face à l'exode vers les villes qui s'accroît (avec un taux de 75% de population urbaine dans la ville en 2049, d'après l'ingénieur des matériaux et chimiste Timothée Boitoutzet), lutter contre l'étalement urbain devient un but et un projet qui s'inscrit dans la démarche Développement Durable des acteurs du territoire (objectif ZAN, « zéro artificialisation nette » inscrit dans le plan biodiversité de 2018). Face à ces éléments, la notion de la densification des villes est, bien souvent, la solution proposée. Cette densification est synonyme de ville « durable »² (*Touati et Crozy, 2015*), mais il faut prendre en compte les risques de cette stratégie peut engendrer.

L'îlot de chaleur (ICU) est un de ces risques. Provoqué par l'artificialisation excessive du tissu urbain et par l'absence de végétation, il convient de prendre garde à ses effets néfastes pour la santé et la biodiversité. Si l'on retrace les épisodes caniculaires à répétition depuis l'an 2000, leurs conséquences (notamment sur la mortalité des personnes sensibles), nous a montré l'importance d'éviter ces phénomènes dans nos villes, et de maintenir des endroits de fraîcheur (*Laurence Eymard, juillet 2020, The Conversation*). Il est important de noter que ces épisodes de chaleur sont appelées à se multiplier et à s'amplifier de façon conséquente à l'horizon 2100 (*Cerema, Juin 2019*).

*« Au moins 155 États membres des Nations Unies reconnaissent désormais légalement
qu'un environnement sain est un droit humain fondamental. »*

Antonio Guterres, secrétaire général de l'ONU

La densité de l'habitat est l'un des facteurs qui tend à amplifier le phénomène d'îlot de chaleur³ (*C. Magdelaine, Les îlot de chaleur urbains sous haute surveillance : 12/11/2009*). C'est pourquoi, nous nous sommes intéressés à ce sujet afin de pouvoir engager la discussion sur les constructions de demain alors que 80 % de la population vivant dans les zones urbaines sera touchée par ce phénomène (*étude publiée en mars 2018 par Physical Review Letters, USA*). L'État a déjà entamé un début de réponse accompagné d'actions puisque les PLU (Plan Local d'Urbanisme) tendent à intégrer de plus en plus de mesures pour lutter contre le réchauffement climatique et, parmi les effets néfastes, les îlots de chaleur urbain. On voit apparaître avec précision de nouvelles réglementations qui devront être prises en compte dans les nouveaux projets urbains.

En m'appuyant sur la démarche « *Naturellement !* » de la société Nexity qui vise à développer la végétation et le développement durable au sein de ses nouveaux programmes immobiliers, je me suis posé la problématique suivante :

Dans quelles mesures les espaces végétalisés peuvent-ils lutter contre les îlots de chaleur en ville ? Comment intégrer ces mesures de façon simple et économique dans les opérations immobilières ? Quelles autres solutions existe-t-il ?

¹ <https://www.lagazettedescommunes.com/688721/canicule-et-urbanisme-arretons-de-densifier-nos-villes/>

² Anastasia Touati, Jérôme Crozy. La densification résidentielle au service du renouvellement urbain : Filières, stratégies et outils. France. [La Documentation Française](#), 2015, 978-2-11-009943-3. ([hal-01143514](#))

³ https://www.notre-planete.info/actualites/2172-ilots_chaleur_urbain

Ce travail a pour but de comprendre ce qu'est un îlot de chaleur, d'en répertorier les raisons, les conséquences, et de proposer à travers un benchmarking des solutions plausibles à intégrer aux projets immobiliers. Une deuxième partie de ce travail aura lieu sous la forme de projet entreprise de mon contrat de professionnalisation et s'orientera vers des questions de mise en œuvre et d'économie.

Attention, les îlots de chaleur urbains ne sont pas une conséquence du réchauffement climatique, mais plutôt un phénomène qui vient de façon plus ou moins directe participer au déséquilibre climatique en ville.

PARTIE 1 : Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur ?

Avant de songer aux différentes solutions, il convient de nous interroger sur la définition d'un îlot de chaleur ainsi que le principe physique expliquant le phénomène.

1. Une définition

Un îlot de chaleur (ICU) est caractérisé par une **température de surface ou de l'air plus élevée en zone urbaine** qu'en périphérie de la ville⁴ (*O2D environnement – observatoire des îlots de chaleur*). Ce phénomène se traduit également par une diminution de l'amplitude thermique entre les températures diurne et nocturne.

2. Un retour historique

Le premier à avoir mis en avant l'effet îlot de chaleur, sans toutefois le nommer ainsi, est le pharmacien britannique Luke Howard. Il publie entre 1818 et 1820 un ouvrage dénommé « *Le climat de Londres* » qui étudie le climat urbain de la capitale sur une période de neuf ans à travers les variables suivantes : la température, le « smog », les précipitations, le brouillard. Il identifie alors une différence, principalement la nuit, d'un peu moins de 4°C entre la ville et sa périphérie.

3. Approche physique et compréhension du phénomène

Si on lit la définition précédemment citée, on remarque que deux types de température sont modifiés par l'effet d'îlot de chaleur : la **température de surface** et la **température de l'air**. On peut ajouter à cela une modification de l'**humidité**.

Le principe physique de base est assez trivial. Certains matériaux de construction courants comme l'asphalte et le béton absorbent de façon conséquente l'énergie et les rayons du soleil qu'ils stockent de façon importante avant de rediffuser la nuit, la chaleur emmagasinée la journée. On peut traduire ce phénomène par une formule physique qui est la suivante :

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

T_u : la température de l'air de la zone urbaine.

T_r : la température de l'air au point de référence dans périphérie rurale de la zone urbaine précédemment citée.

Si le phénomène est en général d'une valeur approximative tournant entre 2°C et 4°C, certaines différences calculées ont pu être estimées à un maximum de 12°C. L'augmentation de température est proportionnelle à la taille de la ville ainsi que son nombre d'habitants ainsi qu'à son taux artificialisation des sols. Toutefois, l'îlot de chaleur reste un phénomène difficile à mesurer selon son type et sa localisation. Si plusieurs études ont porté sur le sujet de mesure de l'effet îlot de chaleur, Steward et Oke ont souligné, en 2006, dans un rapport sur les méthodologies utilisées pour définir la magnitude d'un îlot de chaleur urbain, le caractère restreint des échantillons du tissu urbain utilisés.

En dépit de cela, il est possible de préciser la définition en différenciant 4 types* d'îlots de chaleur selon leur verticalité et leurs méthodes d'observation :

- L'îlot de chaleur dans la canopée urbaine (échelle microclimatique – ordre de la dizaine de mètre – échelle infra urbaine/UCL) : D'après le texte de Szpirglas et Voogt datant de 2003, l'îlot de chaleur mesuré dans la canopée urbaine est défini par le volume d'air compris entre les bâtiments, le sol et une surface imaginaire située au-dessus du toit des bâtiments. Autrement dit, l'UCL, c'est le volume où vivent les habitants. Symbolisé par le canyon urbain qui est également son unité géographique, il apparaît dans la journée, mais également la nuit avec un maximum en fin de journée, et varie selon le tissu urbain qui se caractérise par son hétérogénéité morphologique. Les rayons du soleil vont se retrouver piégés dans le canyon et créer ce que l'on appelle un

⁴ <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/ilots-de-chaleur-urbains/>

*Selon les ouvrages, les types d'îlots de chaleur peuvent être trois ou quatre selon si l'îlot d'humidité dans la canopée urbaine est pris en compte ou non.

piégeage radiatif qui va favoriser l'ICU. Additionner à la chaleur anthropique et l'obstruction du vent, l'îlot de chaleur va atteindre son paroxysme.

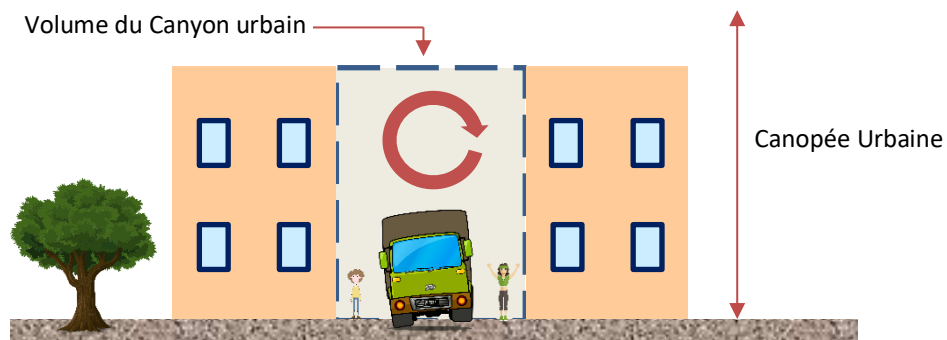


Figure 1 : Représentation de l'îlot de chaleur dans la canopée urbaine
Source : EHRLACHER Julie

- L'îlot de chaleur dans la couche limite urbaine (échelle microclimatique – ordre du kilomètre - à l'échelle des villes dans leur ensemble/UBL) : Ici, la couche mesurée est la couche d'air située au-dessus du tissu urbain dans son ensemble, c'est-à-dire que la ville est considérée comme un îlot unique à l'instar de sa couche supérieure. Comparée à la couche d'air située au-dessus des zones rurales, celle surplombant la ville est modifiée chimiquement par les polluants qui, combinés à l'effet îlot de chaleur, peuvent engendrer des risques sanitaires. Il est important de rappeler que la pollution atmosphérique, contrairement aux idées reçues, n'est pas une cause des îlots de chaleur urbains. L'UBL caractérise un problème du refroidissement nocturne qui va être retardé à cause de l'élévation de température nocturne dû à l'emmagasinement durant la journée. On pourra observer un maximum de l'intensité du phénomène généralement en milieu de nuit. En effet, ce type d'îlot de chaleur se produit en fin de journée et perdure un certain moment de la nuit.

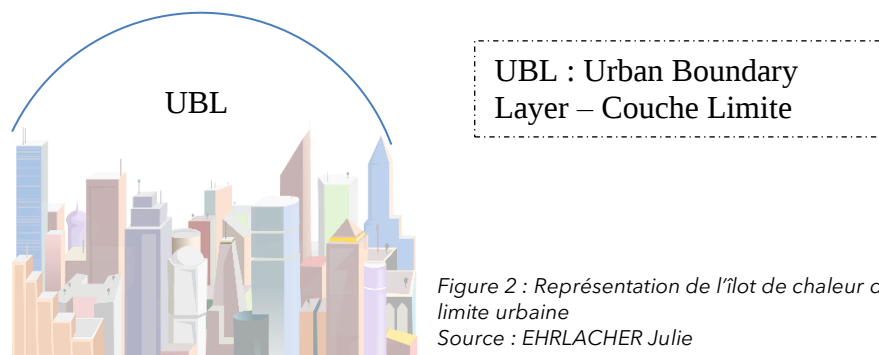


Figure 2 : Représentation de l'îlot de chaleur de la couche limite urbaine
Source : EHRLACHER Julie

- L'îlot de chaleur en surface (échelle microclimatique à l'échelle d'une surface/SL) : Il comprend l'étude des surfaces ainsi que la fine couche d'air (de quelques centimètres) située au-dessus de ces surfaces (*Champiât – Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, 2008*). Il est mesuré grâce aux lectures des rayons infrarouges émis et réfléchis, dans la plupart des cas, grâce à la télédétection.

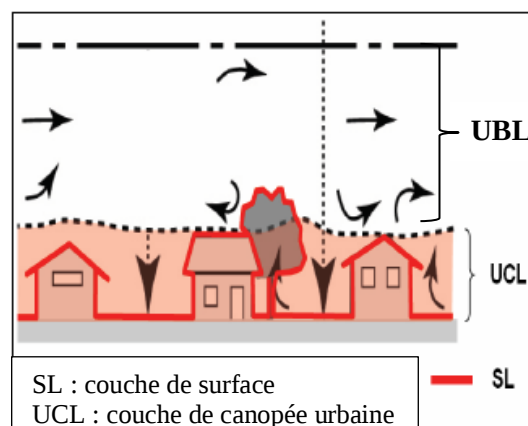


Figure 3 : Représentation de l'îlot de chaleur en surface
Source : Voogt, 2007

Pour résumer à l'échelle d'une ville la schématisation, nous pouvons reprendre le schéma qui suit et qui représente les différences de température pour la ville de Paris en 2008 lors d'une forte nuit de canicule :



Figure 4 : Coupe schématique de visualisation des températures en 2008 pour une nuit de canicule (type été 2003)
Source : ©Groupe DESCARTES – Consultation internationale de recherche et de développement sur le grand pari de l'agglomération parisienne, 02/2009

ATTENTION : L'îlot de chaleur urbain n'est pas un phénomène constant dans le temps. L'intensité qui le caractérise peut parfois être nulle ou négative. Il évolue temporellement et selon les conditions. Il est variable.

4. Les causes de l'effet îlot de chaleur

Les causes sont nombreuses ayant toutes comme point commun la modification de l'environnement d'origine. En effet, les perturbations engendrées par l'urbanisation entraînent des phénomènes microclimatiques responsables des îlots de chaleur urbains. Certaines variables peuvent être contrôlées (intervention directe) tandis que d'autres sont incontrôlables (intervention indirecte) et doivent faire l'objet d'études afin de pouvoir être anticipées et intégrées aux processus de projet urbain.

- Variables contrôlables : (Attention, le fait que les variables citées ci-dessous soient considérées comme contrôlables ne signifie pas que les actions à mettre en place sont rapides ou simples.)
 - La morphologie, la topographie et la configuration de la ville : Cette cause regroupe à la fois la taille des bâtiments, leur orientation ainsi que leur exposition au rayonnement solaire et au vent. En effet, les bâtiments serrés, créant des canyons urbains, bloquant la circulation de l'air, engendrent dans la plupart des cas l'ICU. L'absence d'ombre est également un facteur favorisant l'ICU, tout comme la rugosité du tissu urbain qui vient s'opposer à la circulation de l'air et, par conséquent, entraîne une stagnation de la chaleur.
 - Les propriétés radiatives et thermiques des matériaux de construction (revêtements de façades, revêtement de sol) : Les matériaux tels que l'asphalte et le béton sont à bannir si l'on veut éviter l'effet îlot de chaleur, tout comme les matériaux à albédo faible avec des teintes foncées. Il convient également de rappeler que les matériaux à albédo élevé, mais avec des propriétés réfléchissantes sont à éviter parce qu'ils peuvent être source de danger (notamment pour les utilisateurs routiers). En résumé, les matériaux idéaux pour défavoriser l'ICU ont les propriétés suivantes : faible inertie, albédo élevé, poreux (pour favoriser le drainage et le refroidissement des surfaces), teinte claire. Pour les matériaux au sol, la perméabilité est également très importante. Des études concernant les matériaux innovants sont en cours. Aujourd'hui, il convient d'analyser le comportement des matériaux afin de choisir ceux adapter à chaque projet urbain.
 - Le mode d'occupation des sols : La répartition des surfaces minéralisées, végétales, aquatiques, perméables et imperméables sont un autre élément fondamental qui engendre ou minimise les îlots de chaleur. Trop de surfaces minéralisées ou imperméables empêchent la circulation de l'eau, l'évapotranspiration⁵ ainsi que l'essor de végétation permettant la réduction du phénomène. Il est important de conserver une trame verte, bleue et brune afin de garder les continuités écologiques nécessaires à l'écosystème et notamment le refroidissement nocturne.

⁵ Définition évapotranspiration : « L'évapotranspiration est un processus par lequel les êtres vivants (végétaux surtout) perdent de l'eau sous forme de vapeur. », article publié sur aquaportail.com par l'équipe d'auteurs-rédacteurs le 30/03/2009 et actualisé le 02/12/2019.

- Les activités urbaines : Si l'îlot de chaleur urbain est une conséquence de l'urbanisation, certaines activités humaines sont tout aussi destructrices et génératrices d'effet néfaste. On peut par exemple citer le rejet d'air chaud lié aux climatisations, les moteurs, les industries, ou encore les embouteillages, etc... Si réduire ces activités permettrait de minimiser l'effet îlot de chaleur, elle permet aussi d'avoir un effet immédiat sur le réchauffement climatique en lui-même. La prise en compte de la réduction de nos activités néfastes à l'environnement, qu'elles soient en lien avec l'îlot de chaleur ou non est un point crucial qu'il ne faut en aucun cas négliger face aux crises sanitaires qui s'additionnent de façon répétée. La consommation énergétique des bâtiments ainsi que les transports représentent à eux seuls, une large majorité des émissions de chaleur anthropique.
- La densification des villes : Si la densification est une solution contre l'étalement urbain, elle doit être réfléchie et étudiée puisqu'elle est aussi facteur d'îlot de chaleur. Que cela soit par imperméabilisation des sols, la suppression des espaces végétalisés ou encore l'augmentation du nombre d'habitants dans les villes, il est important de mettre en œuvre une réflexion poussée et des solutions écologiques permettant la densification sans détérioration du milieu et amplification des effets néfastes de l'urbanisation. Dans le mémoire d'Amélie PARMENTIER sur l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour atténuer le phénomène d'îlots de chaleur en milieu urbain, elle cite notamment le scientifique Oke ayant mis en évidence, à travers deux formules, la relation entre la population et la différence de température ΔT_{u-r} symbolisant l'effet îlot de chaleur.

→ (1973) mise au point de manière empirique de la relation liant le phénomène d'îlot de chaleur à la vitesse du vent ainsi qu'à la population :

$$\Delta T_{u-r} = \frac{0,25 * P^{1/4}}{u^{1/2}}$$

P (hab) : la population

U (m/s) : vitesse moyenne du vent

→ Détermination après études sur 8 autres villes au Québec :

$$(\Delta T_{u-r})_{MAX} = 3,06 * \log(P) - 6,79$$

P (hab) : la population

Il faut toutefois nuancer ces équations qui, bien qu'elles démontrent l'importance de la population sur le phénomène d'îlot de chaleur, simplifie et généralisent un problème bien plus complexe et très variable. Le phénomène que nous décrivons jusqu'à maintenant ne peut être défini que par cela.

- Variables incontrôlables : (Attention, le fait que les variables citées ci-dessous soient considérées comme incontrôlables ne signifie pas qu'aucune action ne peut atténuer leurs impacts.)
- Les conditions climatiques (la saison, les conditions nocturnes, le couvert nuageux, la vitesse du vent, les conditions atmosphériques) : Les conditions très souvent citées qui alimentent l'ICU sont les conditions anticycloniques. Il fait beau, le vent est faible ce qui entraîne une stagnation de l'air et de la chaleur et par conséquent engendre l'effet ICU à son paroxysme. La saison est également très révélatrice puisque si l'été, l'îlot de chaleur peut s'avérer dangereux, l'hiver, il peut à contrario se révéler utile pour réchauffer et ainsi éviter les surconsommations d'énergie liées au chauffage. Oke a déterminé en 1971 que la forme de l'îlot de chaleur de la canopée urbaine évolue lorsque l'on a des vents modérés de 3 à 6 m.s⁻¹ et disparaît lorsque l'on a des vents supérieurs à 11,1 m.s⁻¹.

Pour résumer nos propos et les causes favorisant les ICU :

Phénomène microclimatique	Paramètres
Rétention de la chaleur	Propriétés radiatives et thermiques des matériaux
	Géométrie des canyons urbains
	Exposition du relief au rayonnement solaire
	Exposition des canyons urbains au rayonnement solaire
	Exposition des façades au rayonnement solaire
	Ombrage
	Pollution atmosphérique
Perturbation de la dynamique des masses d'air	Topographie
	Géométrie des canyons urbains
	Rugosité du tissu urbain
Réduction de l'évapotranspiration	Imperméabilité des surfaces
	Rareté des masses d'eau
	Rareté de la végétation
Emission de chaleur par les activités anthropiques	Chaleur émise par les transports
	Chaleur émise par les bâtiments (hors industrie)
	Chaleur émise par l'industrie
	Chaleur émise par le métabolisme humain

Tableau 1 : Paramètres influençant les ICU

Source : Champiat - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, 2008

5. Les conséquences

L'îlot de chaleur influe principalement sur l'environnement et la santé publique. Si la définition de l'effet en lui-même ne génère pas forcément danger et inquiétude, sa combinaison avec les facteurs tels que la pollution, le réchauffement climatique et la prolifération des maladies, amplifie les risques sanitaires et environnementaux rendant l'ICU plus néfaste qu'il ne le laisse penser.

- **Hausse de la mortalité** et des **problèmes de santé** physiques et psychologiques notamment à cause du stress thermique (malaises, inconfort, coups de chaleur, difficultés respiratoires, ...) et de l'aggravation des maladies préexistantes.
- Diminution de la qualité de l'air **intérieur** et **extérieur** à cause de la formation de smog et de son aide à la prolifération des moisissures, des bactéries, etc...
- Augmentation de la **demande en énergie** ayant pour cause le cercle vicieux de la **climatisation** (plus il fait chaud, plus on augmente la climatisation pour tenter de refroidir, plus l'air chaud se diffuse à l'extérieur et engendre l'effet îlot de chaleur), entraînant aussi la hausse des émissions de **gaz à effet de serre**.
- **Transformations microclimatiques** et **météorologiques** qui engendrent un changement du régime des pluies avec de violents orages, des canicules plus intenses ou encore générant des impacts sur la répartition ou le taux des polluants à cause de la stagnation de l'air.

6. Le microclimat des villes, pas qu'une question d'îlots de chaleur

L'îlot de chaleur urbain (ICU) n'est pas le seul phénomène microclimatique à agir dans nos villes, bien que la plupart des recherches soient fondées sur celui-ci. En effet, on peut citer trois autres types d'îlots qui participent à la climatologie urbaine :

- Ilot d'humidité urbain (IHU) : Bien que moins étudiée, il a été démontré par certains scientifiques que l'humidité a une influence sur l'îlot de chaleur, le bilan radiatif de la ville, le confort thermique humain ou encore permet au smog de se développer plus facilement⁶. D'après les informations dont nous disposons à l'heure actuelle, l'humidité est globalement plus faible dans les villes que dans les zones rurales, les villes devenant généralement des îlots de sécheresse urbaine. Cependant, formé lorsque le taux d'humidité en ville est (de façon exceptionnelle) plus grand que celui de la zone rurale, créant ainsi un excédent de vapeur d'eau, on voit apparaître le terme d'îlot d'humidité urbain. Le IHU est étroitement lié à l'ICU qui, de par sa chaleur, permet à l'air de contenir une masse d'eau plus importante. Si l'IHU est moins étudié que l'ICU, il n'en reste pas moins conséquent pour la santé des individus et l'environnement.
- Ilot de sécheresse urbain (ISU) : Se manifestant surtout la journée, en été, l'ISU se calcule sur les mêmes bases que l'îlot d'humidité urbain : l'humidité relative⁷ (très sensible aux températures) et la pression partielle en vapeur d'eau. Dans le cas où l'humidité relative possède un pourcentage trop faible voire inférieur à 0, on observe alors un îlot de sécheresse urbain. Certaines recherches, comme l'étude sur la ville de Strasbourg, ont montré que certains ISU étaient permanents, encouragés par les îlots de chaleur. Toutefois, la végétation agissant sur l'humidité, diminue aussi l'effet îlot de chaleur et, par conséquent, l'effet îlot de sécheresse puisqu'il a été établi un lien entre les deux phénomènes climatiques. L'ISU se manifestera d'autant plus que la zone rurale est sujette à une évapotranspiration conséquente à la différence de la ville qui n'en émet que peu, surtout si son taux d'artificialisation est élevé.
- Ilot de fraîcheur urbain (IFU) : Solution possible pour lutter contre les îlots de chaleur, parfois appelés « îlots oasis », les îlots de fraîcheur sont des îlots de végétations permettant le rafraîchissement des villes. Ils sont également une ressource nécessaire pour mieux vivre les pics de chaleur provenant des dérèglements climatiques. Des études ont été menées notamment sur la transformation des cours d'école qui, très asphaltées, contribuaient aux ICU. Cela a aussi permis de prendre en compte l'aménagement de zones laissées pour compte. L'IFU est généralement composé d'eau, de végétation et d'ombre. Il peut se trouver un peu partout que cela soit un parc, une rue ou un pied d'immeuble.

⁶ Pierre P. KASTENDEUCH, Georges NAJJAR et Nathalia PHILIPPS « Îlot de sécheresse et d'humidité à Strasbourg (France) », *Climatologie* [En ligne], mis à jour le : 14/04/2020, URL :

<http://lodel.irevues.inist.fr/climatologie/index.php?id=1392>, <https://doi.org/10.4267/climatologie.1392>

⁷ L'humidité relative est le pourcentage de saturation de l'air en humidité. Dans le cas où l'humidité est de 100%, toute quantité d'eau supplémentaire se transformera se condensera.

PARTIE 2 : Quelles sont les solutions pour prévenir/lutter contre l'effet îlot de chaleur ?

Comme nous l'avons montré dans la première partie, la lutte contre les îlots de chaleur est devenue un enjeu majeur et est de plus en plus représentée dans les décisions politiques. Pour corroborer ces dires, on peut citer les documents suivants qui mettent en avant les volontés de changement tels que le deuxième PNACC 2018-2022 (Plan National d'Adaptation au Changement Climatique), la SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone), le PCE (Plan Climat Énergie) ou encore les projets de réensauvagement, de végétalisation à travers des mesures du PLU (Plan Local d'Urbanisme) et du Plan Biodiversité. Ces documents ont tous pour but d'initier le changement aux différentes échelles d'acteurs en prenant en compte les enjeux sociaux, financiers, environnementaux, etc. Si les changements climatiques ne peuvent être arrêtés totalement, leurs conséquences peuvent néanmoins être diminuées notamment en transformant peu à peu nos villes en villes résilientes.

Divers outils permettent le diagnostic des îlots de chaleur par les collectivités selon les coûts et les modes de mise en œuvre. Il est important, lors du montage d'une nouvelle opération immobilière, de prendre en compte ces diagnostics afin de prévoir le type de solutions à mettre en place. Si dans la globalité il existe quelques grands types de solutions (détaillés ci-dessous), ces derniers regroupent des petites solutions qui, selon la gravité et la menace causée par les îlots de chaleur, peuvent varier en coûts et en mode d'exécution.

ATTENTION : les solutions sont à adapter en fonction de l'environnement, du projet et du risque accru ou non d'effet îlot de chaleur. Certaines de ces solutions comme la perméabilité aéraulique demande d'être couplée avec d'autres afin d'avoir un réel impact.

1. Les Solutions Vertes et Bleues et Brunes

a. L'Eau

« L'eau est la force motrice de toute la nature »

Léonard de Vinci

Si l'eau et la végétation vont de pair, il est important de souligner les bienfaits de l'eau en elle-même. Comme on peut le voir dans l'Histoire, l'eau a de tout temps été une ressource nécessaire, décidant l'Homme à s'installer sur une terre ou bien une autre. Ces histoires du passé, nous permettent de tirer des enseignements utiles qui peuvent lutter contre les îlots de chaleur. Combiner ces enseignements avec l'innovation peut nous aider à, d'une part, lutter contre les îlots de chaleur, mais également préserver la biodiversité et économiser nos réserves en eau douce. Il est nécessaire de noter que la végétation, solution la plus communément utilisée pour lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur, a besoin, pour être efficace, d'un apport en eau et en nutriments.

L'eau qui rafraîchit, pourquoi ? Grâce au phénomène d'évaporation qui est, par définition, le passage de l'état liquide à l'état gazeux de l'eau. Ainsi, de la surface libre d'une étendue (lac, bassin, etc.) on observe un rafraîchissement de l'air ambiant complété par l'action du vent sur ces plans d'eau qui permet la dispersion de l'humidité.

Quelques aménagements d'eau intéressants pouvant servir de réflexion :

- Gestion de l'eau de pluie : Si cette méthode n'est pas en soi une solution aux îlots de chaleur, elle peut indirectement intervenir en favorisant la végétation rafraîchissante et l'économie d'eau potable. Elle peut servir à l'arrosage urbain ainsi qu'aux écosystèmes servant à diminuer l'impact des îlots de chaleur. Pour capter un maximum d'eau de pluie, on peut citer les aménagements tels que les puits de rétention, des bassins etc.
- Arrosage urbain : Méthode s'appuyant sur la définition d'évaporation, l'arrosage urbain avec de l'eau recyclée sur les surfaces imperméables permet de réduire efficacement leur température en surface. Une étude à Tokyo a démontré une baisse de température de 8°C durant la journée et de 3°C durant la nuit avec cette méthode.
- Les jardins d'eau : véritable opportunité pour la biodiversité et la végétation, ils permettent le rafraîchissement grâce au phénomène d'évaporation en plus d'améliorer le cadre de vie.

Bon à savoir : La noue de récupération pour la gestion des eaux pluviales est la solution la plus respectueuse du cycle de l'eau. En effet, elle alimente la nappe phréatique et permet de désengorger les bassins de récupération des réseaux enterrés. Elle est également moins coûteuses que les réseaux souterrains.

b. La Végétation

« Il n'y a pas de protection du climat sans protection de la biodiversité »

Ministère de la Transition Écologique

La végétation est la solution la plus utilisée et la plus emblématique lorsque l'on parle de phénomène d'îlot de chaleur. Si elle permet d'apporter de la fraîcheur grâce à l'évapotranspiration et à la perméabilisation des sols, elle agit aussi grâce à l'ombre des arbres sur le sol et les bâtiments. Ses bienfaits ne s'arrêtent pas là puisque la végétation aide à la réduire la demande en énergie, la pollution de l'eau et de l'air, sans oublier ses effets positifs sur les émissions de gaz à effet de serre et sa protection des UV.

Qu'est-ce que l'évapotranspiration ? C'est le processus par lequel une quantité d'eau est transférée dans l'atmosphère, à la fois par l'évaporation de l'eau au niveau du sol et par la transpiration des végétaux. Cette « transpiration » des végétaux est due à la perte de vapeur d'eau au niveau des stomates des feuilles et aux transferts d'eau dans la plante⁸. Les stomates (tous petits orifices présents dans l'épiderme des feuilles) permettent les échanges gazeux entre la plante et l'air. Au-delà des échanges eau-air, ils permettent à la plante de se ressourcer en dioxyde de carbone. Les arbres sont les végétaux qui préviennent et luttent le plus efficacement contre le ICU. En effet, leur transpiration est importante et permettent un ombrage important.

Une solution efficace ? D'après le rapport *Champiat – Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, 2008*, on peut observer, l'après-midi en été, une différence de température de 1°C jusqu'à 5°C entre les parcs urbains et leur environnement urbain. Ils pourraient même afficher des températures inférieures à celle de la périphérie rurale. Concernant les zones boisées, celles-ci sont plus chaudes que la périphérie rurale, mais reste plus fraîche que la ville.

Il existe un indice qui permet de caractériser la présence de végétation : l'Indice Différentiel de Végétation Normalisé (IDVN ou NVDI en anglais). Obtenu par télédétection, il permet de se renseigner sur la quantité, la santé ainsi que l'activité de la végétation. Utilisé en agriculture, il permet de fournir des informations sur la biomasse, la teneur en eau, la croissance des cultures etc. grâce aux propriétés spectrales de la végétation. Il peut être également utilisé pour prédire le rendement des cultures ou encore un possible stress hydrique.

Bon à savoir : 1°C en plus nécessite 9% à 12,6% d'énergie supplémentaire fournie par une climatisation (Huang et al.1990). Selon le projet de recherche Épicéa, la végétation peut baisser la température de 3 à 5°C sur un instant donné. Autrement dit, une bonne gestion de la végétation, grâce à ses propriétés et ses ombrages peut réduire la consommation énergétique d'une climatisation de 50 à 70%⁹.

Quelques astuces pour ramener de la végétation dans les opérations immobilières :

→ Murs végétaux¹⁰ : À l'instar de la végétalisation entourant le bâtiment, le mur végétal participe à la régulation de la température de l'enveloppe du bâtiment et par conséquent au comportement énergétique de celle-ci en réduisant les écarts de température.

Deux types de murs existent :

- Le premier consiste à recouvrir celui-ci de plantes grimpantes plantées au sol (espace de 15 cm sur 15 cm requis au sol et support métallique si besoin).
- Le deuxième appelé « mur vivant » consiste à recouvrir celui-ci de plants enracinés dans un médium attaché au mur. Cette installation demande plus de moyens financiers et techniques.

On peut, au-delà des murs, installer la végétation sur des clôtures, des poteaux ou encore des lampadaires en s'assurant que le matériel supporte le poids de la végétation qui viendra le coloniser.

⁸ <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89vapotranspiration>

⁹ L'arbre en milieu urbain, acteur du climat en région hauts-de-France. Réalisé par le groupement : E6 / Symbios'in / Atelier Colin & Poli Paysages / Climate Adaptation Consulting pour l'ADEME et la région Hauts-de-France.

¹⁰ (1)

Idée reçue : la végétation grimpante entretenue n'endommage pas le bâtiment à moins que celui-ci soit déjà fragilisé.

- La végétalisation du pourtour des bâtiments : Le but ici est de protéger le bâtiment des rayonnements solaires. En effet, la texture et la nature des sols qui entourent le bâtiment peuvent agir sur sa température intérieure et extérieure. Afin d'avoir une ombre optimisée sur un bâtiment, il est conseillé de disposer les arbres sur les faces Est, Sud-Est et Ouest¹¹.
- Les toits végétalisés : Cette astuce permet de freiner les échanges thermiques entre le toit et l'intérieur du bâtiment en plus de rafraîchir l'extérieur surplombant la structure. Mais ses bénéfices ne s'arrêtent pas là. En effet, on observe grâce aux toits végétalisés un gain d'isolation thermique, une amélioration de la qualité de l'air (les toits végétalisés fixent les polluants et poussières atmosphériques) ainsi qu'une durée de vie du toit plus importante (car les végétaux protègent des intempéries, des changements brusques de température et de l'exposition aux rayonnements solaires). Ci-dessous, un tableau comparant les toits verts de extensifs et intensifs :

Caractéristique	Type de toit vert	
	Extensif	Intensif
Poids	Léger Supplément de 30 à 100 kg/m ²	Lourd Supplément de 120 à 350 kg/m ²
Coût	Entre 100 \$ et 150 \$/m ²	Jusqu'à 1 000 \$/m ² . Dépend de l'épaisseur du substrat et des végétaux choisis
Fonction	Écologique Adapté aux grandes superficies (industries)	Usage récréatif, agriculture urbaine Adapté aux petites et moyennes surfaces
Type de substrat	Léger, poreux, peu de matière organique	Léger à lourd, poreux, quantité de matière organique variable
Épaisseur	2 à 20 cm	30 cm et plus
Type de végétation	Végétation résistante au climat rigoureux (par exemple, les plantes de type sedum)	Aucune restriction Type de toit pouvant héberger des arbres
Entretien	Restreint	Modéré Similaire à un jardin classique; désherbage, tonte, ensemencement, arrosage des plants, etc.
Accessibilité	Peu fréquent Pour l'entretien uniquement	Accessible pour loisirs ou jardinage

Tableau 2 : Type de toitures végétalisées

Source : Lawlor et Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006 ; Boucher, 2006 ; Laplace, 2009 ; Obemdorfer et al., 2007.

- Le long des axes de transport : Il n'est pas rare de voir au bord des routes françaises, la végétation qui se développe. Toutefois, certains ont eu l'idée de venir combler les zones délaissées à l'instar des échangeurs d'autoroute. Pour illustrer notre propos, on peut citer le projet FEEDER pensé par les architectes américains Studio Gang. Le but est de transformer les espaces routiers inutilisés en serre chauffées par les

¹¹ Giguère M, Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains revue de littérature [Internet]. Québec: Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique Québec; 2010 [cité 14 janv 2021]. Disponible sur: <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2007095>

énergies renouvelables. Dans l'exemple donné, on observe comment les architectes transforment une bretelle en espace de culture.



Photo 1 : Serre sur une bretelle d'autoroute.

Source : http://energie.lexpansion.com/climat/des-serres-sur-des-echangeurs-d-autoroutes-_a-35-5048.html

Des bretelles, des échangeurs, autant d'espace inutilisés qui sont de réelles opportunités de végétalisation ou de friches.

Des bénéfices ? Que l'on végétalise avec des arbres, ou encore que l'on transforme le terrain en potager, les effets positifs sont nombreux comme la filtration de l'air pollué, la production locale de denrées alimentaires, le rafraîchissement des villes.

- Les haies : Mise en avant par le projet ACCLIMATASION de la ville de Sion, la haie champêtre possède de nombreux avantages à la fois paysagers et environnementaux en plus de prévenir l'effet îlot de chaleur. Composée d'essences locales, elle devient un espace clé dans l'écosystème en s'apparentant à un corridor entre les milieux plus naturels et la ville. Il est important de prendre en compte le terrain (sol calcaire ou acide ?), l'exposition au soleil, l'espace.

Typologie et emprise de la haie

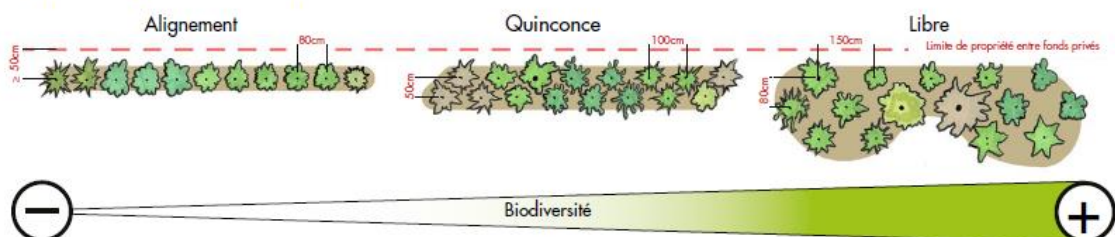


Figure 5 : Typologie des haies

Source : de Sion V. Guide des aménagements extérieurs. :34.

Ces haies peuvent être complétées par le concept de haies « bircher » également mis en avant par le projet de la ville de Sion et développé par des étudiants de l'Hepia qui permet de choisir parmi un large choix des arbustes sur lesquels récolter à tout moment de l'année des fruits. (ATTENTION, le choix des

plantes/arbustes/arbres reste un choix particulier à chaque projet et chaque région. Le but est de repeupler les villes en végétation locale ou en végétation pouvant s'implanter facilement sans risque de déséquilibre ou d'envahissement tout en restant ludique et en améliorant le cadre de vie.)

- Les plantes couvre-sol : à l'instar des haies, les plantes couvre-sol jouent un rôle essentiel dans l'écosystème et dans l'amélioration des microclimats. Elles permettent notamment de limiter l'érosion et le compactage et par conséquent de favoriser la perméabilité des sols et ses fonctions de stockage en eau. Comme les autres plantes, elles contribuent également à lutter contre la pollution de l'air et à favoriser la biodiversité au sein de nos jardins.

Bon à savoir : le paillage et les techniques au mode de culture plus naturel permet d'économiser du temps de travail. D'après le projet de la ville de Sion (de Sion V. Guide des aménagements extérieurs. :34), on peut passer de 45min/m²/an d'entretien à environ 5 à 8 min/m²/an.

Nous avons vu que la végétation est l'une des solutions les plus efficaces et les plus simples à mettre en place. La liste non-exhaustive ci-dessus permet de se projeter et de s'inspirer afin d'apporter des solutions qui atténuent et préviennent. Pour rejoindre cette démarche, deux projets qui vont un peu plus loin sont à l'étude et en phase de test.

- Micro-forêt urbaine : Inspirer du botaniste japonais Akira Miyawaki, une phase de test a été mise en place dans la région des Hauts-de-France par Mathieu VERSPIEREN avec pour appui l'école Marcelle Detaille et la mairie de Wasquehal. Pour donner une idée économique, le maître d'œuvre (chargé du suivi et de l'entretien) dispose d'un budget de 7000 euros comprenant : l'étude de terrain, l'analyse, la structuration et l'amendement du sol, la sélection d'essences indigènes, les travaux, ... et plus globalement le suivi de la forêt jusqu'à autonomie (Après 2 ans, la forêt n'a plus besoin d'un entretien). Il faut compter 300 arbres pour 100 m². Pour plus de détails : <https://www.beeforest.fr/>
- Ville comestible : Avec pour thème l'autosuffisance alimentaire et la résilience des villes, l'association Incroyables Comestibles France développe l'appellation « Villes et Villages Comestibles de France ». Si cette démarche n'est pas directement liée et décrite pour lutter contre les îlots de chaleur, elle s'installe dans une démarche globale qui aide à prévenir et à agir de façon indirecte. *
Pour plus de détails : <https://bienvenue.lesincroyablescomestibles.fr/villes-et-villages-comestibles-de-france/>
À l'instar de ces ambitions, des fermes verticales, des jardins, des cultures verticales sur les toits sont proposées par plusieurs jeunes entreprises qui innovent et proposent des solutions sans surcoût excessif afin de ramener de la verdure et de l'agriculture au sein des villes.

ATTENTION : le choix de la végétation est important. Il est recommandé de choisir des espèces locales, non invasives et adaptées au projet et au terrain (espace disponible, qualité de la terre, ressource en eau, ...). Le gazon synthétique est à proscrire et agit en faveur des ICU. Des compléments tels que des hôtels à insectes ou l'installation de ruches sur les toits peuvent être des solutions pour encourager encore la végétation.

Bon à savoir : Il a été démontré qu'à New-York grâce au Plan NYC, chaque dollar investi dans un arbre génère 5,6 dollars de services écosystémiques¹².

2. Les Solutions Grises – Les infrastructures urbaines

a. L'Ombre

L'**ombrage** est une solution généralement **simple** et **peu coûteuse** qui permet de protéger et de prévenir les îlots de chaleur. Il peut se faire à travers trois canaux : la **végétation**, la **forme** des bâtiments (par conséquent leurs **ombres projetées**) et le **mobilier urbain**. Si le travail sur la forme urbaine peut représenter un surcoût, il existe des méthodes d'ombrage par la végétation et le mobilier urbain efficaces et sans surcoût excessif¹³.

¹² L'arbre en milieu urbain, acteur du climat en région hauts-de-France. Réalisé par le groupement : E6 / Symbios'in / Atelier Colin & Poli Paysages / Climate Adaptation Consulting pour l'ADEME et la région Hauts-de-France.

¹³ Vidéo de modélisation d'un exemple d'ombrière donnant lieu à des réflexions ou encore des pistes d'innovation : <https://www.youtube.com/watch?v=KZCvaNnFQdQ>

D'après un rapport¹⁴ de l'ADEME en juin 2017 sur le rafraîchissement des villes, la baisse de température ressentie lorsque l'on se place sous une ombrelle est de -5°UTCI (Indice Universel du Climat Thermique).

De plus, d'après l'article (chiffre clé...) des études ont été menées et ont démontrées que sous l'ombre d'un arbre, il pouvait y avoir une différence de 10°C par rapport à une surface ensoleillée, chiffre qui n'est pas négligeable lorsque l'on cherche à diminuer le phénomène d'îlot de chaleur.



Photo 2 appartenant à « Voile Ombrage Québec » : <https://www.voileombragequebec.ca/municipal/>



Photo 3 appartenant à « Voile Ombrage Québec » : <https://www.voileombragequebec.ca/residentiel/>

b. Une Gestion Raisonnée de l'Espace

La gestion raisonnée de l'espace est une solution à prendre en compte dès l'achat des terrains et le montage d'un projet. Un projet condensé en bâti aura plus de chance de voir se former des îlots de chaleur en son sein qu'un projet aéré, notamment s'il s'agit d'un centre-ville. L'utilisation des sols, en particulier l'imperméabilisation, doit également faire l'objet d'une réflexion poussée afin de rationner et raisonnée les emprises au sol. De manière générale, chaque projet étant différent, chaque action quelle qu'elle soit doit être pensée pour avoir l'impact minimum sur l'environnement¹⁵.

Pour illustrer notre propos, nous pouvons reprendre l'idée de la **rue « verte »** évoquée par Lionel TUDISCO lors du webinaire « La ville surchauffe : planifier contre les îlots de chaleur » qui est intervenu sur les actions mises en place par la ville de Sion en Suisse. La rue « verte » a pour principe de minimiser l'impact visuel et environnemental, particulièrement des voies d'accès au domaine privé en les regroupant. Si la qualité paysagère augmente fortement, la gestion raisonnée de l'enrobé permet également de diminuer son impact environnemental et, par conséquent, son coût dans le projet.

Principes d'aménagement



Figure 6 : Exemple d'aménagement raisonné
Source : de Sion V. Guide des aménagements extérieurs :34.

¹⁴ ADEME, 2017. Rafraîchissement des villes : de quelles connaissances avons-nous besoin ? Actes de la journée scientifique et technique du 27 juin 2017 à Lyon »

¹⁵ L'impact minimum de chaque action pourrait faire l'objet d'un prochain sujet. En effet, la question de « l'impact minimum » est difficile à définir bien que son sens général soit compréhensible.

c. La Perméabilité Aéraulique – l'Aménagement Urbain – la Morphologie Urbaine

L'aménagement urbain tout comme la géométrie et la morphologie urbaine ont un réel rôle à jouer dans l'atténuation de l'effet îlot de chaleur. Pour cela, plusieurs recommandations sont ressorties dans les projets et la littérature :

- Laisser de la place aux espaces verts/bleus/bruns.
- Favoriser à l'aide de la géométrie du bâti et la morphologie urbaine une bonne circulation des vents (perméabilité aéraulique) pour aider au rafraîchissement.
- Favoriser la mixité des usages qui permet indirectement de lutter contre le phénomène en réduisant les temps de trajet et l'utilisation des transports.
- Favoriser l'accès à des centres de rafraîchissement (extérieurs et intérieurs).
- Intégrer des zones d'ombre à l'extérieur.

d. Les Matériaux

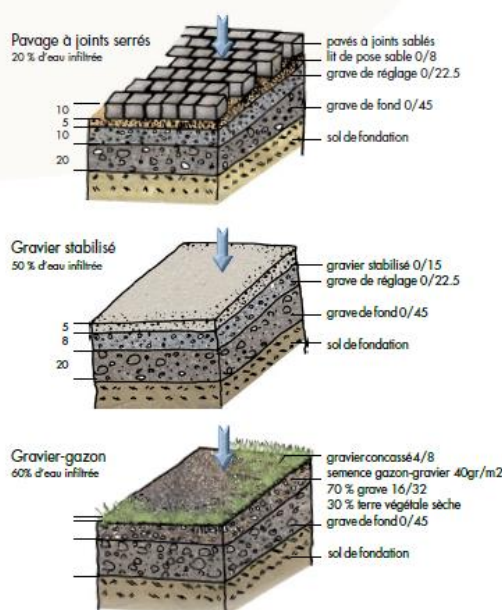
L'action sur les matériaux utilisés est, à l'instar de la végétation, une solution efficace pour lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur puisqu'ils absorbent la chaleur du jour afin de la restituer la nuit. Plusieurs pistes ont été citées dans la littérature et mises en application :

- Les Matériaux Réfléchissants : Plus un matériau a un albédo élevé (c'est-à-dire une réflectivité élevée), moins il emmagasinera de chaleur et réfléchira les rayons du soleil. Compris en 0 et 1, l'albédo dépend de la nature du matériau si bien que pour du béton sale on aura un facteur d'émission de 0,9 et un albédo de 0,2 alors que pour de la peinture blanche, on aura un facteur d'émission de 0,9 et un albédo de 0,8 **(1)**. Il est important de souligner que les matériaux réfléchissants ne sont pas toujours une bonne alternative. En effet, leur réflectivité peut créer des éblouissements qui peuvent s'avérer dangereux. Toujours d'après **(1)**, le Lawrence Berkeley National Laboratory et l'Oak Ridge National Laboratory ont effectué des recherches sur les pigments colorés avec une capacité de réflectivité nettement supérieure à celle des matériaux classiques, en particulier en ce qui concerne le taux de rayonnement infrarouge.
- Revêtements perméables/semi-perméables : Les revêtements imperméables sont à éviter autant que possible (sauf cas nécessaires). Leur capacité à bloquer l'infiltration d'eau n'agit pas en faveur du rafraîchissement urbain ni en faveur de la végétation en plus de contribuer à la contamination des cours d'eau à cause des débordements d'égouts et du ruissellement qui lui-même entraîne l'érosion. En additionnant cela à leur capacité conséquente à absorber la chaleur, la réflexion sur les matériaux perméables (à forte capacité d'infiltration d'eau) ou semi-perméables (infiltration d'eau suffisante pour la végétation, mais pas pour collecter l'entièreté d'eau émise) doit être mise en avant dans les opérations de renouvellement urbain et constructions neuves. Des recherches sur les types de revêtements ont été faites dans le cadre de la lutte contre les îlots de chaleur sur la ville de Sion. On peut voir ci-dessous une image répertoriant des matériaux perméables et semi-perméables utiles lors des opérations urbaines.

Types de revêtements

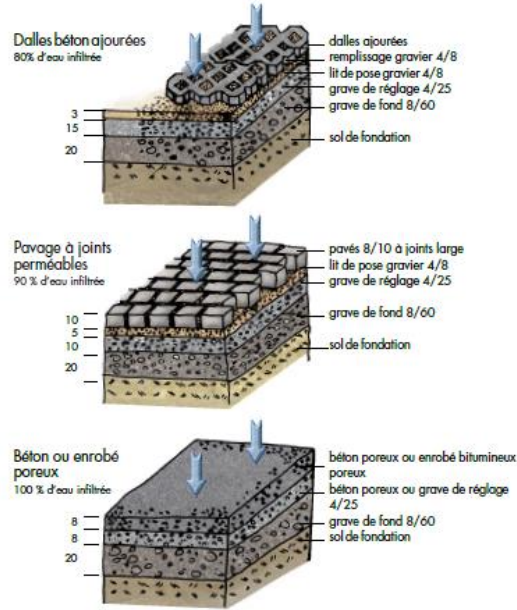
Revêtements semi-perméables, carrossables

Colations en cm et granulométrie en mm



Revêtements perméables, carrossables

Colations en cm et granulométrie en mm (sans particules fines)



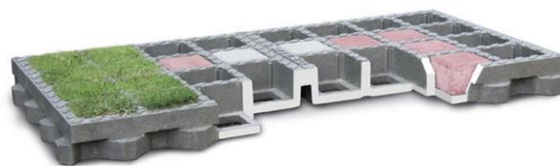
FICHE N°9 GUIDE DES AMÉNAGEMENTS EXTÉRIEURS SUR FONDs PRIVÉS DE LA VILLE DE SION

Figure 7 : Type de revêtements

Source : de Sion V. Guide des aménagements extérieurs. :34.

Cas particulier du revêtement routier : L'asphalte est un matériau favorisant l'effet îlot de chaleur, défavorisant la nature, et qui domine bien souvent dans nos villes. Toutefois, il existe aussi des solutions pour atténuer son utilisation.

- **Parking anti-ICU¹⁶** : comme développé ci-dessus, le revêtement de sol perméable est à favoriser. Sur ce principe, la société O2D Environnement® a mis au point le système dalle TTE® qui est un revêtement de parking écologique qui favorise l'infiltration des eaux pluviales, préserve les fonctions naturelles du sol et améliore le cadre de vie. Produite à l'aide de déchets ménagers recyclés, autoportante, elle a une résistance à la charge statique de 10N/mm² et une résistance au poinçonnement supérieure à 100 kN. Des tests de résistance à la compression sont disponibles sur le site.



La dalle TTE® est un système robuste de revêtement de sol perméable. Véritable éco-matériau, elle allie capacités de portance exceptionnelles, protection du gazon et modularité. Elle répond aux enjeux de l'éco-construction.

Figure 8 : Dalle TTE®
Source : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/eco-matériau-eco-construction/>

- **Enrobé rafraîchissant** : Le projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT est un projet développé par la mairie de Paris dont une partie est financée par l'Union Européenne. Le but est de participer à des tests réels (3 sites à Paris – performance évaluée jusqu'en 2027) sur des revêtements innovants développés par Colas et Eurovia qui promettent une amélioration des propriétés thermiques et phoniques des enrobés classiquement utilisés. Le principe est l'utilisation de granulats clairs (avec un albédo plus élevé que l'asphalte normal) permettant d'augmenter le taux

¹⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=18iOmHXrjPQ> / <https://www.o2d-environnement.com/solution/concept-tte-revetement-de-parking-ecologique/>

de réflectivité du matériau et de travailler sur sa porosité afin de favoriser sa rétention d'eau et par conséquent, son évaporation. La porosité permet également l'atténuation du bruit. D'après les données étudiées, la baisse de température réelle serait d'environ 2°C et la baisse de température ressentie serait d'environ 3°C.

- Asphalte et béton coloré ou ajout d'une couche superficielle de béton : La réflectivité augmentant avec l'albédo, l'ajout de pigment coloré réfléchissant les rayons infrarouges peut être une solution. Dans le même principe le rapport (1) met en avant le fait qu'appliquer une couche de 2,5 à 10 mm d'épaisseur sur une chaussée de bitume peut avoir des effets positifs grâce à l'albédo plus élevé du béton.

3. Le Biomimétisme – l'Innovation

La nature est une source d'opportunités et d'innovation. Le biomimétisme pour lutter contre les problèmes environnementaux est d'après Olivier Floch (organisateur de Biomim'Expo avec le Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) le moyen le plus efficace pour reconnecter nos villes à l'environnement. Revoir notre façon de les construire en se basant sur les astuces que la nature a déjà inventé. On peut, pour illustrer notre exemple, citer les mangroves qui sont une méthode efficace pour lutter contre les inondations. D'après une étude de l'Union Internationale de la Conservation de la Nature, les mangroves seraient capables d'absorber entre 70% et 90% de l'énergie d'une vague normale. Et si on s'inspirait de l'aptitude des calmars à changer de couleur de peau pour concevoir un matériau avec des propriétés de thermorégulation ? C'est le défi que s'est lancé une équipe de chercheurs de l'Université de Californie. En plus de lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur, un matériau capable de bloquer ou non les rayons infrarouges pourrait contribuer à l'économie d'énergie.

Quant est-il de l'architecture bioclimatique ? Innovation qui permet de protéger les bâtiments d'une surchauffe en période estivale, que cela soit à travers l'étanchéité des bâtiments, les protections solaires ou encore le vitrage, il existe aujourd'hui des méthodes et astuces d'architecture permettant de contrer les effets thermiques des bâtiments.

PARTIE 3 : Exemple d'opérations immobilières existantes.

Maintenant que nous avons vu les causes, les conséquences et les solutions, nous allons voir quels exemples réalisés démontre la possibilité de prévenir et lutter contre l'effet îlot de chaleur.

1. Un EcoQuartier à Longvic, Dijon

DESCRIPTION DU LIEU	DESCRIPTION DU PROJET
Localisation : Rives du Bief Nombres d'habitants : 168 Porteur du projet : Ville de Longvic Échelle du projet : Quartier Climat : Semi-continental Présence d'un îlot de chaleur : Oui Quartier prioritaire	Date de début : 2008 Date de fin : 2014 Surface : 2 ha S'inscrit dans une démarche de revitalisation. Aménagement (sur le modèle SfN - solutions fondées sur la Nature) : 71 logements (61 en accession / 10 en location), requalification d'équipements publics (crèche, centre social), maison des associations, réalisation d'un axe vert, création d'une nouvelle voie de desserte., noue de récupération des eaux de pluie, jeux d'eau, reboisement. Label EcoQuartier
MESURES ATTENUANT L'EFFET ICU	CHIFFRES CLÉS
Noue de gestion des eaux pluviales (700 m3 de stockage qui se ressuie en 1 jour + capacité de filtration) Jeux d'eau Plantations dense d'arbres (essences locales) Ombrage naturel Création d'1 ha de bois (400 arbres, 3700 arbustes, 4600 plantes vivaces - majorité botanique pour ramener la faune) Logements conçus avec une architecture bioclimatique réduisant ainsi les demandes en énergie.	"Nous dépensons moins de 250€ par an pour chauffer 80 m²" - paroles d'une habitante du quartier. Coût total du projet : 2,1 M€ (110€/m²) 10°C de différence entre une façade ombragée et une surface ensoleillée.



Figure 9 : Modélisation de l'EcoQuartier des Rives du Bief par Unanimes Architectes
Source : <https://www.bienpublic.com/grand-dijon/2013/09/10/longvic-le-label-ecoquartier-pour-les-rives-du-bief>

2. Un Quartier Durable d'une ZAC à Luciline-Rives de Seine, Normandie

DESCRIPTION DU LIEU

Localisation : Luciline - Rives de Seine NORMANDIE
Nombres d'habitants : 50 480 habitants et quartiers proches
Porteur du projet : Ville de Rouen
Échelle du projet : Friche Industrielle
Climat : Océanique dégradé
Présence d'un îlot de chaleur : À prévenir
Ancienne zone d'activité portuaire

MESURES ATTENUANT L'EFFET ICU

Réhabilitation d'une rivière souterraine
Attention particulière aux performances énergétiques des bâtiments
Gestion des eaux pluviales par des noues paysagères, des toitures végétalisées, en gérant aussi l'eau de source de la rivière de Luciline
Un réseau de chaleur innovant (géothermie sur eau de nappe)

DESCRIPTION DU PROJET

Date de début : 2012
Date de fin : 2021
Surface : 9 ha
S'inscrit dans la démarche sur l'Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU2) portée par l'ADEME.
Label EcoQuartier 3
Aménagement : 1000 logements (250 sociaux, 250 coûts maîtrisés, 500 libres), 125000m² de surface de plancher, 50000 m² de commerces et de bureaux (300 emplois prévus dans le tertiaire). Des espaces publics encourageant à la promenade et aux mobilités douces.

CHIFFRES CLÉS

Coût total du projet : 49.9M€ TTC dont 28M€ TTC financés par la ville.

Microclimat favorable jusqu'à 100 m d'une rivière ou d'un fleuve avec un abaissement de la température de l'air de 6 à 7°C à une hauteur de 1,75m.

(TRIBU ENERGIE. Expérience d'un BET sur les EcoQuartiers. Effet d'îlot de chaleur urbain, 2016.)



Plan de masse ZAC de Luciline © Agence de Villers

Pour en savoir plus : <https://www.luciline.fr/decouvrez-luciline/>

3. Un EcoQuartier à Clichy, Ile de France

DESCRIPTION DU LIEU

Localisation : ZAC Clichy Batignolles, ILE DE FRANCE
Nombre d'habitants : 7500 / Nombre d'emplois : 12700
Porteur du projet : Ville de Paris / Paris & Métropole aménagement
Échelle du projet : Friche Industrielle et Ferroviaire
Climat : Océanique dégradé
Présence d'un îlot de chaleur : Zone parisienne très sujette

MESURES ATTENUANT L'EFFET ICU

Intégration de notion de bioclimatisme, jeu d'ombrage
Attention particulière portée à la consommation énergétique des bâtiments (géothermie + panneaux solaires)
Revêtements avec albédo élevé
Pleine Terre de 6500 m² d'espaces verts privés + 16 000 m² de toiture végétalisée.
Gestion alternative du cycle de l'eau

DESCRIPTION DU PROJET

Date de début : 2001
Date de fin : 2024 (2019 : livraison de 90% des programmes)
Surface : 54 ha
Label EcoQuartier 4
Label EcoJardin
Aménagement : grand parc urbain sur 10ha, 35000 m² de panneaux photovoltaïques, 550 000 m² de surface de plancher (3400 Logements (dont 50% sociaux), 140 000 m² de bureaux, 120 000 m² pour l'ensemble judiciaire, 31 000 m² de commerces, culture, loisirs, 38 000 m² d'équipements publics).

CHIFFRES CLÉS

Coût total du projet : 820M€ (274 M€ de participation de la Ville aux équipements publics)
Baisse de 2°C la nuit en période de canicule.
Géothermie dont la production de chaleur s'effectue par 85% d'énergies renouvelables.
Seulement 12% des chaussées du quartier sont imperméables.



Photo 4 : Ecoquartier de Clichy Batignolles

Source : <https://urbanauth.eu/paris-ecoquartier-clichy-batignolles-innovation-ecologique-urbaine-fr/>

Conclusion

Comme nous l'avons vu, l'effet îlot de chaleur peut avoir des conséquences néfastes sur la santé publique et l'environnement. Ce déséquilibre du climat des villes n'est pas à prendre à la légère et s'additionne à d'autres problèmes également néfastes pour l'environnement et les citoyens. La végétalisation (facile et peu coûteuse) reste la première solution pour lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur, mais il est utile de se pencher sur les solutions complémentaires ou innovantes permettant de prévenir et de lutter encore plus efficacement contre ces nuisances qui, la plupart du temps, préviennent et luttent conjointement sur d'autres grands sujets environnementaux de notre temps. Elle doit être pensée et réfléchie afin de maximiser ses résultats et ses bienfaits qui s'avèrent nombreux.

Dans l'introduction de ce document, nous avons mis en avant la densification des villes pour prévenir l'étalement urbain et par conséquent, l'augmentation possible de la survenue des effets îlot de chaleur. Il est important de souligner dans ce travail la différence entre « densité » et « compacité » et se demander comment, sans pour autant s'étaler à l'infini, construire la ville sur la ville de façon intelligente et respectueuse de l'environnement ? Une prise de recul sur ces démarches innovantes et pionnières de re-végétalisation est plus que jamais nécessaire.

Au-delà des raisons évidentes qui poussent les scientifiques, urbanistes et autres acteurs à lutter contre les îlots de chaleur, l'environnement et notamment la place du végétal gagnerait à être plus importante pour améliorer le cadre de vie des populations urbaines. Il est important que les trames vertes, bleues, brunes et noires retrouvent un équilibre. Ce qui nous amène à nous poser la question de la place du végétal au sein des villes, du projet urbain et plus particulièrement dans les opérations immobilières. Comment faire en sorte qu'il devienne une unité de base du projet urbain ?

SOURCES / BIBLIOGRAPHIE

1. Giguère M, Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains revue de littérature [Internet]. Québec: Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique Québec; 2010 [cité 14 janv 2021]. Disponible sur: <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2007095>
2. Agence d'Urbanisme, région nîmoise et alésienne. "Synthèse îlots de chaleur. Agir contre les Ilots de Chaleur Urbains (ICU)"; décembre 2014.
3. exe_cb_dossierpresse-fr_220217.pdf.
4. Ministère du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité, Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages, Sous-direction de la qualité du cadre de vie, Bureau de la planification urbaine et rurale et du cadre de vie. "fiche PLU_Préserver les espaces et paysages naturels"; avril 2015.
5. Observatoire de l'environnement. "Fiche N°25 Surfaces végétalisées (espaces verts/habitants)"
6. MétéoFrance, Agence Parisienne du Climat. "L'îlot de chaleur urbain" icu-brochureapc-mf; septembre 2018.
7. Webinaire_La Ville surchauffe : planifier contre les îlots de chaleur; decembre2020. Disponible sur : https://energy-cities.eu/fr/webinar/planifier-les-ilots-de-chaleur/*
8. de Sion V. Guide des aménagements extérieurs. :34.
9. Chambu MW. Département de géomatique appliquée Faculté des lettres et sciences humaines Université de Sherbrooke. :66.
10. CHAMPIAT, Clément. Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur. Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES,2008;114.
11. Kastendeuch PP, Najjar G, Philipps N. ÎLOT DE SÉCHERESSE ET D'HUMIDITÉ À STRASBOURG (FRANCE). 2019;16:19.
12. PARMENTIER, Amélie. Élaboration d'un outil d'aide à la décision pour atténuer le phénomène d'îlots de chaleur en milieu urbain. Mémoire à l'obtention de la maîtrise en génie de l'environnement. École Technologique Supérieure Université du Québec, 2010, 108.
13. Balaÿ O, Bardyn J-L. L'architecte, l'habitat, le végétal et la densité. :108. Olivier Balaÿ, Jean-Luc Bardyn. L'architecte, l'habitat, le végétal et la densité. [Rapport de recherche] CRESSON. 2013, pp.107. hal-01360340
14. Pigeon G. Discipline : Physique de l'Atmosphère. :173.
15. ADEME. "Aménager avec la nature en ville : des idées préconçues à la caractérisation des effets environnementaux, sanitaires et économiques" [Brochure réf.010658]. ISBN 9791029711800. 2018; 100.

16. ADEME. "Diagnostic de la surchauffe urbaine : Méthodes et applications territoriales" [Brochure réf.010307]. ISBN 979-10-297-0923-4. 2017;64.
17. L'arbre en milieu urbain, acteur du climat en région hauts-de-France. Réalisé par le groupement : E6 / Symbios'in / Atelier Colin & Poli Paysages / Climate Adaptation Consulting pour l'ADEME et la région Hauts-de-France. réf.8747.
18. Des solutions fondées sur la nature pour s'adapter au changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement. :306.
19. Bernard J. Rafrâichissement urbain : État des lieux des connaissances. :48.
20. Quizz sur le Rafrâichissement Urbain. :14.
21. Cossais N. Parc Jacob Kaplan Système de récupération des eaux pluviales. :23.
22. **Ilot de chaleur urbain et Surchauffe dans mon logement**, réalisées dans le cadre du projet Défi Canicule, à la Mce.
23. ADEME, 2017. Rafrâichissement des villes : de quelles connaissances avons-nous besoin ? Actes de la journée scientifique et technique di 27 juin 2017 à Lyon ». Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque
24. ADEME, 2020. Végétaliser : Agir pour le rafrâichissement urbain. [Brochure réf.011157]. ISBN 979-10-297-1566-2. Disponible en ligne www.ademe.fr/metdiatheque
25. O2D Environnement. La Ville Durable Aujourd'hui : Des Solutions de Lutte Contre les Îlots de Chaleur Urbains [en ligne]. (24 octobre 2018) Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/ilots-de-chaleur-urbains/>
26. Grenoble Ville de Demain. L'atelier "îlots de chaleur urbains" par l'Institut de Géographie Alpine/Université Grenoble Alpes. [vidéo en ligne]: <https://www.youtube.com/watch?v=HMvv4spdTMC>
27. O2D Environnement. Des Espaces Urbains Au Fort Potentiel Environnemental [en ligne]. (17 juillet 2019) Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/espaces-urbains-environnement/>
28. O2D Environnement. Un Éco-matériau Au Service De Vos Projets HQE® Et De l'Éco-construction [en ligne]. (1 novembre 2017) Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/eco-materiau-eco-construction/>
29. CEREMA. Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique [en ligne]. (28 juin 2019) Disponible sur ; <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>
30. VILLE DE LYON. Chaleur Urbaine : les solutions à l'œuvre [en ligne]. (12 juillet 2019) Disponible sur : <https://www.lyon.fr/actualite/developpement-durable/chaleur-urbaine-les-solutions-loeuvre>
31. COTEMETEO.FR. îlot de chaleur urbaine : explication [en ligne]. Disponible sur <http://actualites.cotemeteo.fr/article-ilot-de-chaleur-urbaine-explication-20072016.html>

32. Martin SIMARD. Étalement urbain, empreinte écologique et ville durable. Y a-t-il une solution de rechange à la densification ? Cahier de géographie du Québec, Volume 58, Issue 165, Décembre 214, p. 331-352.
33. L'OBS. Sophie NOUCHER. À quoi ressemblera l'habitat de demain ? [en ligne]. (27 septembre 2019) Disponible sur : <https://www.nouvelobs.com/2049/20190927.OBS19043/a-quoi-ressemblera-l-habitat-de-demain.html>
34. WEB Pédagogique. Alerte Climat. L'habitat de demain : quelles solutions face au réchauffement climatique ? [en ligne]. (21 avril 2015) Disponible sur : <https://lewebpedagogique.com/alertemeteo/2015/04/21/lhabitat-de-demain-queelles-solutions-face-au-rechauffement-climatique/>
35. VIVRE EN VILLE (s.d.). « Ilot de chaleur urbain », Collectivitesviabiles.org, Vivre en Ville. <http://collectivitesviabiles.org/articles/ilots-de-chaleur-urbains.aspx>
36. Institut national de santé publique. Îlots de chaleur : Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain ? [en ligne]. Disponible sur : <http://www.monclimatmasante.qc.ca/%C3%AElots-de-chaleur.aspx>
37. ONU Info. L'humanité doit « faire la paix avec la nature ». Le chef de l'ONU appelle à remettre en état la planète [en ligne]. (2 décembre 2020) Disponible sur : <https://news.un.org/fr/story/2020/12/1083552>
38. Indura, Webinaire du 8 octobre 2020. « Ilots de chaleur urbains : comportement des matériaux et nouvelles pratiques » [en ligne]. Disponible sur : <https://vimeo.com/467172770>
39. Christian THIBAUT. La prise en compte des enjeux de la transition dans le SDRIF [Séminaire en ligne] (3 mars 2015). Disponible sur : <https://fr.slideshare.net/IAUIDF/la-prise-en-compte-des-enjeux-de-la-transition-dans-le-sdrif-maers-2015>
40. SMABB Syndicat d'Aménagement : des bénéfices multiples pour les humains [vidéo en ligne]. (16 juillet 2019) Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=bnbkvLGJ2vI>
41. Nature Action Québec. Les Plans de Lutte contre les îlots de chaleur : pour rafraîchir nos villes [en ligne]. (3 septembre 2020) Disponible sur : <https://nature-action.qc.ca/les-plans-de-lutte-contre-les-ilots-de-chaleur-pour-rafraichir-nos-villes/>
42. VILLE DE PARIS. Des expérimentations en ville pour faire baisser la chaleur [en ligne]. (7 août 2020) Disponible sur : <https://www.paris.fr/pages/des-experimentations-en-ville-pour-faire-baisser-la-chaleur-8152>
43. COOL & LOW NOISE ASPHALT. « Lutter contre le bruit et la chaleur en ville » [en ligne]. Disponible sur : <https://www.life-asphalt.eu/projet/>
44. Techniques de l'Ingénieur, Arnaud Moign. « Un matériau biomimétique capable de réguler la température » [en ligne]. (28 juin 2019) Disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/un-materiau-biomimetique-capable-de-reguler-la-temperature-67034/>
45. Direction Régionale Environnement Aménagement Logement. « Micro-forêts urbaines, une solution d'aménagement durable pour lutter contre le changement climatique » [en ligne]. (13 novembre 2020) Disponible sur : <https://www.hauts-de-france.developpement->

durable.gouv.fr/?Micro-forets-urbaines-une-solution-d-amenagement-durable-pour-lutter-contre-le-changement-climatique

46. Vergers Urbains. « La ville comestible : vers une nature cultivée au service des communs » [en ligne]. (8 décembre 2020) Disponible sur : <http://vergersurbains.org/la-ville-comestible-vers-une-nature-cultivee-au-service-des-communs/>

47. Agence de l'eau. « Écoquartier les Rives du Bief – Longvic » [en ligne]. (13 mai 2014) Disponible sur : https://www.eaurmc.fr/jcms/dma_39544/fr/presentation-de-l-ecoquartier-les-rives-du-bief-a-longvic

Directeur de recherche :

Éric THOMAS

Julie EHRLACHER

PFE/DAE5

**Ingénierie Territoriale Internationale
2020-2021**

Anticiper la lutte contre les îlots de chaleur dans les opérations immobilières neuves.

Résumé :

Ce document traite du sujet de l'effet îlots de chaleur d'une part en expliquant scientifiquement le phénomène, en décrivant les causes, les conséquences, les méthodes d'observation, d'autre part en présentant un nombre de méthodes efficaces (liste non exhaustive) à ce jour (végétalisation, eau, matériaux, ombrage...). Également, il répertorie 3 cas d'étude, de mise en pratique, afin d'illustrer les solutions proposées. Ce document a pour but de présenter des pistes de réflexion sur la prévention et la lutte contre les effets d'îlot de chaleur, jusqu'à se poser la question de la définition d'un aménagement d'équilibre face aux grandes questions de notre ère. Il met également en lien l'îlot de chaleur et le réchauffement climatique en précisant qu'il n'en est pas une conséquence. Ce rapport met aussi en avant des chiffres clés (gain de température, coût d'une opération, gain d'énergie), mais précise que les mesures de lutte et de prévention des îlots de chaleur sont jeunes et, pour certaines, encore à l'essai. Enfin, il démontre l'étroit lien entre les îlots de chaleur et les autres phénomènes climatiques à travers les solutions proposées qui agissent conjointement sur plusieurs problèmes, notamment la végétalisation.

Mots Clés : îlot de chaleur, solution, rafraîchissement, végétalisation, matériaux, albédo, opération immobilière, chaleur, changement climatique, santé.