

Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :
MASTER ACADEMIQUE

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT URBAIN

Présenté par :
**Nabila LAISSAOUI
Amina LALILI
Meriem LALOU**

THEME :
**L'URBANISME DURABLE COMME SOLUTION FACE AU
PHENOMENE DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN: CAS DE LA
VILLE DE TAHER**

Date de soutenance: 24/06/2018

Composition du Jury :

Saïd GRIMES

Ammar BOUCHAIR

Shahrazed GHERZOULI

MAA, Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Président du jury

Pr. , Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Directeur de mémoire

MCB, Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Membre du Jury

Remerciements

On remercie le bon dieu qui nous a donné le pouvoir, la volonté et le courage pour achever ce travail.

*On remercie infiniment nos chers parents pour leurs aides et leur soutien moral et matériel. On tient également à remercier et exprimer toute notre reconnaissance et notre respect à notre encadreur et dirigeant **Mr le Pr BOUCHAIR Ammar** pour l'aide et l'orientation qu'il n'a cessé de nous prodiguer au cours de l'élaboration de cette étude. Et aussi d'avoir accepté de nous encadrer pour notre travail de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.*

Nous profitons l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de fin d'études. Sans oublier les généreux amis et collègues pour leur soutien moral et matériel

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

*Nous présentons également nos remerciements aux membres du jury **Mr GRIMES Saïd** et **Mme GHERZOULI Shahrazed** qui ont accepté de participer à l'évaluation de notre travail. Et à tous nos enseignants de département d'architecture de Jijel en signe d'un profond respect.*

Merci à vous tous

Nabila, Amina et Meriem

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont soutenu, m'ont encouragé durant toute ma période d'étude, et pour leurs sacrifices consentis. À ceux qui ont toujours voulu que je sois la meilleure :

À mes très chers parents : Qu'ils trouvent dans ce travail toute ma reconnaissance et l'expression de ma profonde gratitude et admiration.

Que dieu vous garde en bonne santé.

À mes chères, frères et sœurs : Nabil, Mouloud, Fouad, Lynda, Sonia, Amel et Ranya pour l'aide et le respect qu'ils m'ont toujours accordé, en leur souhaitant tout le succès... tout le bonheur.

À mes chers amis et proches que j'aime beaucoup.

Et plus particulièrement à ma précieuse Khaoula AFFANE pour son énorme soutien jamais oubliable.

À mes très chère amies Amina & Meriem, qui étaient toujours à mes cotés, je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonheur.

À toute personne qui m'a assisté dans mes moments difficiles, mon conseiller qui a supporté mon humeur au moment de stress, je ne te remercierai jamais assez pour ton aide précieuse.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible... Je vous dis merci.

Nabila

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de gratitude :

Aux meilleurs des parents

Comment vous remercier pour votre amour inconditionnel ? Je n'aurais sûrement pas réussi sans vous et vos encouragements. Je vous dois tellement qu'une vie n'y suffira pas. J'espère pouvoir vous rendre fiers de mon parcours.

Mon père,

Tu as été toujours là pour moi durant mes études. Ton amour, tes sacrifices et tes prières font de moi ce que je suis aujourd'hui. Puisse ce modeste travail t'exprimer tout mon amour, ma reconnaissance et ma profonde estime.

Ma mère,

Je te dois tout, et même plus encore. Merci d'avoir toujours été présente pour nous, en tous lieux et toutes circonstances. Tu nous fais preuve de ton amour chaque jour, j'espère te le rendre de la meilleure manière.

A mes sœurs et frère,

Meissa, ma grande sœur préférée, mon modèle... Je sais que je peux compter sur toi à tout moment. J'admire ton mode de vie, ta créativité, ta joie de vivre ! Tu es la meilleure des sœurs, et tu aspiras à une grande réussite professionnelle, tu seras une excellente dentiste.

Chaima, merci pour tes mots positifs, pour tes encouragements en chantant pour moi avec ta voix catastrophique quand je suis stressée, merci pour tes « YOU CAN DO IT » « TO THE EAST TO THE OUEST AMINA ALWAYS THE BEST ». J'espère te voir toujours à la hauteur.

Yahia, merci pour ton soutien.

L'AVENIR EST A NOUS.

A la mémoire de mes grands-pères.

A mes grands-mères Djamila, Fatima et Titoua.

A tous les autres membres de la famille LALILI et BOUSSABOUNE, petits et grands, Que je ne peux pas citer tellement la famille est grande.

A mes très chères amies,

Meriem, Nabila, merci pour vos encouragements, voilà nous y sommes arrivées !

Bouchra, Besma, Isma, Fatima et Nassira. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, mes meilleurs vœux de succès et de bonheur dans vôtres vie.

A mes deux cousines Khawla, Samra, merci pour votre amour.

A Ness'

Tu as toujours cru en moi. Merci de m'épauler dans les périodes difficiles et les moments de doute.

Amina

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont soutenu, m'ont encouragé durant toute ma période d'étude, et pour leurs sacrifices consentis. À ceux qui ont toujours voulu que je sois la meilleure :

A la mémoire de ma chère mère Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mon père l'épaulé solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect

Aucun mot, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, ma considération, et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être.

Puisse dieu tout puissant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

Trouvez en ce travail le fruit de votre dévouement et de votre patience avec moi.

A mon mari Messaoud: Celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage ...je t'aime.

A mes beaux-parents Warda et Ahcen qui je ne pourrais cerner l'hommage dans des mots, que Dieux leur procure bonne santé et longue vie.

A mes beaux-frères et ma belle-sœur Amina pour tout le respect l'affection et l'ambiance dont vous m'avez entouré, Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A tous les membres de ma famille LALOUI et KHELFALLAH, petits et grands ...Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts.

Une grande dédicace à mes chères amies Nabila et Amina ... En souvenir de nos éclats de rire, de l'amitié sincère qui nous a liés, et de bons moments passés ensemble.

A tous mes collègues du département d'Architecture

A tous les personnes qui m'ont aidé de proche ou de loin pour réaliser ce travail

Je vous dis merci.

Meriem

TABLE DES MATIERES

Liste des illustrations

INTRODUCTION GENERALE

1- Préambule	1
2- Choix et intérêt du thème	2
3- Problématique	2
4- Hypothèses de recherche	3
5- Objectifs de l'étude	4
6- Méthode d'investigation	4
7- Structure du mémoire	4

PARTIE I : APPROCHE THEORIQUE DE L'ETUDE

CHAPITRE 1: CLIMATOLOGIE URBAINE ET CONCEPT DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN

Introduction	6
1.1. Climatologie urbaine	6
1.1.1. Le développement de la ville	6
1.1.2. De la climatologie à la climatologie urbaine	6
1.1.3. Evolution de climatologie urbaine	7
1.1.4. Microclimat urbain	7
1.1.5. Paramètres affectant le micro climat urbain	7
1.1.6. Les phénomènes de base influençant l'environnement urbain	8
1.1.7. Microclimat urbain et chaleur : un système complexe d'interrelations	8
1.2. L'îlot de chaleur urbain: un sujet brûlant	9
1.2.1. Définition de l'ICU.....	9
1.2.2. Historique de l'ICU	9
1.2.3. L'intensité du phénomène de l'ICU	10
1.2.4. Les conditions optimales de développement du phénomène	10
1.2.5. Méthodes employées dans l'identification de l'ICU	10
1.2.6. Les différentes échelles d'étude de l'ICU	11
1.2.6.1. La couche limite urbaine (UBL)	11
1.2.6.2. La couche de canopée urbaine (UCL)	11
1.2.6.3. La couche de surface (SL)	12
1.2.7. Facteurs à l'origine de la formation de l'ICU	12

1.2.7.1. Propriétés thermiques des matériaux	12
1.2.7.2. Végétation	14
1.2.7.3. Imperméabilité des surfaces urbaines et gestion de l'eau	14
1.2.7.4. Morphologie urbaine	14
1.2.7.5. Chaleur anthropique	14
1.2.8. Impacts et effets	15
1.2.8.1. Impacts sur l'environnement	15
a. Détérioration de la qualité de l'air extérieur	15
b. Détérioration de la qualité de l'air intérieur	15
c. Hausse de la demande en énergie	15
d. Hausse de la demande en eau potable	15
1.2.8.2. Impacts sur la santé	15
1.2.8.3. Impacts sur le confort thermique	15
Conclusion	15

CHAPITRE 2 : L'URBANISME DURABLE COMME NOUVEAU MODELE URBANISTIQUE

Introduction	16
2.1. Définition de l'urbanisme durable	16
2.2. L'apparition de l'urbanisme durable	16
2.3. Facteurs d'apparition de l'urbanisme durable	17
2.4. Les finalités de l'urbanisme durable	17
2.5. Les éléments de l'urbanisme durable	20
2.5.1. Un étalement urbain maîtrisé	20
2.5.2. Une mixité des fonctions urbaines et une proximité renforcée	20
2.5.3. Un habitat à faible consommation énergétique	20
2.5.4. Une politique de transports ambitieuse	20
2.5.5. Une nouvelle gouvernance urbaine	21
2.5.6. Une plus grande maîtrise du foncier	21
2.6. Les principes de l'urbanisme durable	21
2.7. Les principales formes de l'urbanisme durable	22
2.7.1. New urbanisme	22
2.7.2. HQE Aménagement	23
2.7.3. HQE2R	23
2.7.4. Ecoquartier	23

Conclusion	23
------------------	----

CHAPITRE 3: L'INTERVENTION DE LA PRATIQUE DE L'URBANISME DURABLE DANS LA TRANSITION D'UN ILOT DE CHALEUR URBAIN A UN ILOT DE FRAICHEUR URBAIN

Introduction	24
3.1. L'îlot de fraîcheur urbain	24
3.1.1. Définition de l'IFU	24
3.1.2. Les formes de IFU	24
3.1.3. Le rôle de l'IFU	24
3.1.4. Les bienfaits de IFU	25
3.2. Les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains découlant de la pratique de l'urbanisme durable	25
3.2.1. Végétation et fraîcheur	26
3.2.1.1. Stratégie urbaine de végétalisation	26
3.2.1.2. Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation	26
3.2.1.3. Végétalisation des stationnements	26
3.2.1.4. Végétalisation du pourtour des bâtiments	27
3.2.1.5. Murs végétaux	27
3.2.1.6. Toits verts	27
3.2.2. Infrastructures urbaines durables	27
3.2.2.1. Bâtiments	27
a. Matériaux réfléchissants	27
b. Architecture bioclimatique	28
3.2.2.2. Infrastructures routières	29
a. Pavés à hauts albédos	29
b. Augmenter l'albédo de la peinture des véhicules	29
3.2.2.3. Aménagement urbain	29
a. Accès à des installations de rafraîchissement	30
b. Protection solaire dans les zones publiques	30
3.2.3. Gestion durable des eaux pluviales	30
3.2.3.1. Arbres et toits verts	30
3.2.3.2. Revêtements perméables	31
3.2.3.3. Jardins pluviaux	31
3.2.3.4. Bassins de rétention	31
3.2.3.5. Tranchées de rétention	32

3.2.3.6. Puits d'infiltration	32
3.2.3.7. Chaussées à structure réservoir	32
3.2.3.8. Arrosage des pavés imperméables avec de l'eau recyclée	32
3.2.4. Diminution de la chaleur anthropique	32
3.2.4.1. Contrôle de la production de chaleur dans le bâtiment	32
a. Éclairage artificiel et lumière naturelle	32
b. Appareils de bureautique	33
c. Appareils électroménagers	33
3.2.4.2. Réduction du parc automobile en milieu urbain	33
a. Densifier les centres urbains et limiter l'étalement urbain	33
b. Mixité d'usages	33
c. Restreindre l'accès des véhicules automobiles	33
d. Transport en commun	34
e. Transport actif	34
3.2.4.3. Bâtiments passifs : contrôle de la demande de climatisation	34
a. Ventilation	34
b. Rafrâchissement solaire	35
c. Puits provençaux (ou puits canadiens)	35
d. Système de rafraîchissement par rayonnement	36
Conclusion	36

CHAPITRE 4: ETAT DE L'ART

Introduction	37
4.1. Résumé de quelques études sur l'urbanisation et l'îlot de chaleur urbain	37
4.1.1. Etude de Ludwig	37
4.1.2. Etude de Siddiqi de l'université de Sheffield à U.K (1978).....	37
4.1.3. Etude du groupe d'îlot de chaleur de Hashem Akbari (avril 2000)	38
4.1.4. Etude de l'école des sciences géographiques et environnementales de l'université de Monash (2005)	38
4.2. Exemples sur les applications de l'urbanisme durable: Cas des écoquartiers	39
4.2.1. L'écoquartier Vauban Freiburg.....	39
4.2.1.1. Présentation du quartier	39
4.2.1.2. Plan de masse	39
4.2.1.3. Structure urbaine des îlots	39
4.2.1.4. Points forts du quartier	40

a. Transport et mobilité	40
b. Social et services	40
c. Energie	41
d. Eau et espaces verts	41
e. Déchets	41
f. Architecture	42
4.2.2. L'Écoquartier Hammarby	42
4.2.2.1. Présentation du quartier	42
4.2.2.2. Planification	42
4.2.2.3. Plan de masse	43
4.2.2.4. Objectif	43
4.2.2.5. Points forts du quartier	43
a. Sol	43
b. Transport	43
c. Energie	43
d. Social	44
e. Eau et épuration	44
f. Déchets	44
Conclusion	44

PARTIE II : APPROCHE OPERATIONELLE DE L'ETUDE

CHAPITRE 5: CAS D'ETUDE ET METHODES D'INVESTIGATION

Introduction	45
5.1. Présentation du cas d'étude	45
5.1.1. Situation géographique	45
5.1.2. Accessibilité.....	45
5.1.3. Microclimat	46
5.1.4. Population	46
5.1.5. Analyse urbaine	46
5.1.5.1. Système viaire	46
5.1.5.2. Points de repère	47
5.1.5.3. Espace public	47
5.1.5.4. Paysage urbain et espace vert	47
5.1.5.5. Analyse typo-morphologique	48

a. Cadre bâti et non-bâti	48
b. Densité et formes urbaines	48
c. Equipements	49
d. Habitats	49
e. Activités	49
f. Transport	49
5.1.5.6. Matériaux de construction	50
5.2. Simulation numérique à l'aide du Logiciel ENVI-met	50
5.3. Echantillon choisi	51
5.4. Critères de choix	51
5.5. Déroulement de la simulation	52
Conclusion	54

CHAPITRE 6: RESULTATS ET INTERPRETATION

Introduction	55
6.1. Présentation et interprétation des résultats obtenus	55
6.1.1. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°1	55
6.1.2. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°2	59
6.1.3. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°3	62
6.1.4. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°4	66
Conclusion	69
Conclusion générale	70

Liste des références

Résumé

Abstract

ملخص

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1. : Profil thermique d'un ICU en fin d'après-midi.....	9
Figure 1.2. : Schéma de la couche limite urbaine	11
Figure 1.3. : Schéma du canyon urbain	11
Figure 1.4. : Schéma de la couche de canopée urbaine et la couche de surface	12

Chapitre 3

Figure 3.1. : Vues générales sur deux types d'îlots.	24
---	----

Chapitre 4

Figure 4.1. : Vue aérienne de l'écoquartier Vauban Freiburg	39
Figure 4.2. : Plan de masse du quartier.....	39
Figure 4.3. : La structure urbaine d'un îlot	40
Figure 4.4. : Plan des circulations	40
Figure 4.5. : Récupération de l'eau pluviale sur les toitures	41
Figure 4.6. : Les espaces verts du quartier Vauban	41
Figure 4.7. : Les habitats du quartier Vauban	42
Figure 4.8. : La carte de situation du quartier	42
Figure 4.9. : Plan de masse de Hammarby Sjostad	43
Figure 4.10. : Toiture avec des panneaux photovoltaïque	44
Figure 4.11. : Façade avec des panneaux solaire	44
Figure 4.12. : Systèmes de gestion des eaux pluviales	44
Figure 4.13. : Infrastructure en « boucle fermée »	44

Chapitre 5

Figure 5.1.: Vue aérienne sur le site d'étude	45
Figure 5.2.: Vue aérienne sur l'accessibilité au site	45
Figure 5.3.: Photo aérienne sur la ville de Taher montrant l'ensemble montagneux entourant le site.....	46
Figure 5.4.: Graphe de la population du quartier selon les tranches d'âges.....	46
Figure 5.5. : Carte des différentes composantes du système viaire.....	47
Figure 5.6. : Espace vert	48
Figure 5.7. : La placette en cours de réalisation	48
Figure 5.8. : Représentation en 3D du cadre bâti et non-bâti	48
Figure 5.9. : Carte des formes urbaines	48

Figure 5.10. : Carte des équipements	49
Figure 5.11. : Les activités commerciales dans le quartier	49
Figure 5.12. : Carte du flux de circulation mécanique	50
Figure 5.13. : Vue aérienne sur l'îlot choisi	51
Figure 5.14. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°1: à gauche vue en 2D, à droite vue en 3D	53
Figure 5.15. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°2: à gauche vue en 2D, à droite vue en 3D	53
Figure 5.15. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°3: à gauche vue en 2D, à droite vue en 3D	54
Figure 5.17. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°4: à gauche vue en 2D, à droite vue en 3D	54

Chapitre 6

Figure 6.1. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°1	56
Figure 6.2. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°1.....	56
Figure 6.3. : Coupes verticales présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°1.Au-dessus la coupe à 15h, au-dessous la coupe à 21h	57
Figure 6.4. : Graphe de température de l'air de scénario N°1	58
Figure 6.5. : Graphe d'humidité relative pour le scénario N°1	58
Figure 6.6. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°2.....	59
Figure 6.7. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°2.....	60
Figure 6.8.: Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°2.....	60
Figure 6.9. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°2.....	61
Figure 6.10. : Graphe de la température de l'air pour le scénario N°1 et le scénario N°2	61
Figure 6.11. : Graphe de l'humidité relative pour le scénario N°1 et le scénario N°2	62
Figure 6.12. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°3.....	62
Figure 6.13. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°3.....	63

Figure 6.14. : Graphe de la température de l'air pour le scénario N°1 et le scénario N°3	64
Figure 6.15. : Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°3.....	64
Figure 6.16. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°3.....	65
Figure 6.17. : Graphe de l'humidité relative pour le scénario N°1 et le scénario N°3	65
Figure 6.18. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°4.....	66
Figure 6.19. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°4.....	67
Figure 6.20. : Graphe de la température de l'air pour tous les scénarios	67
Figure 6.21. : Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°4.....	68
Figure 6.22. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°4.....	68
Figure 6.23. : Graphe de l'humidité relative pour tous les scénarios	69

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1. : Albédo et facteur d'émission thermique de différents matériaux.....	13
--	----

Chapitre 5

Tableau 5.1. : Classification des matériaux de construction utilisés	50
Tableau 5.2. : Paramètres utilisés pour le lancement de la simulation	52

1. Préambule

La ville est un système complexe : les fonctions et les services qu'elle offre (se loger, travailler, se distraire) génèrent des flux de personnes, de marchandises, d'énergies, de déchets, d'eaux, d'informations... dont les volumes dépendent fortement de son organisation et de son aménagement (L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise d'Energie [ADEME] 2013). Les milieux urbanisés modifient également de façon plus locale leurs caractéristiques climatiques du fait de la densité et des caractéristiques thermiques et notamment radiatives du tissu urbain (Colombert et Boudes 2012).

Le changement climatique apparaît comme un des problèmes les plus inquiétants que connaît l'environnement de notre planète. A long terme, la rapidité et l'ampleur de ces changements peuvent avoir de nombreuses conséquences néfastes sur l'environnement à savoir : les inondations, les séismes, la sécheresse, ...etc.

La hausse constante de la température (observée et projetée) ainsi que la présence de périodes de températures extrêmes, en particulier en été, accentueront vraisemblablement un problème déjà connu: l'effet de l'îlot de chaleur urbain (ICU) (El Atari et Abou 2015) qui fait référence à l'anomalie positive de température d'air existant entre le centre d'une agglomération et les zones non urbanisées alentours. Ce phénomène climatique entraîne de nombreuses conséquences sur l'environnement urbain dense en infrastructures et au couvert végétal limité (Leconte 2014), qui, soumis à la radiation solaire, accumule de la chaleur et crée des conditions thermiques particulières.

Le défi majeur de l'urbanisme pour les prochaines décennies, est de trouver un compromis entre un développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. En effet, le débat autour des graves problèmes environnementaux soulevés à l'échelle mondiale (changement climatique négatif, effet de serre, pollution,... etc.) met en avant la responsabilité des villes dans cette situation et le rôle déterminant que peut jouer la conception urbaine pour réaliser un développement durable (Achour Bouakkaz 2006).

Dans ce contexte général, l'écologie et le développement durable sont des maîtres-mots du discours moderne qui vient pour trouver d'autres voies que celle de la dilapidation de nos ressources, de favoriser une production plus respectueuse des normes sociales et de l'environnement, de décroître notre impact environnemental et de nous orienter vers une politique de consommation durable (Mehessouel et Roula 2016).

2. Choix et intérêt du thème

La ville est particulièrement concernée par le changement climatique: ses bâtiments consomment de l'énergie et rejettent des gaz à effet de serre. Son climat local est accentué par la formation d'ICU. Les usages de climatisation ou de chauffage de ses habitants sont variés. Ses modifications structurelles sont soumises à une forte inertie qui oblige à raisonner, tout comme pour le changement climatique, à l'échelle du siècle.

L'Algérie s'inscrit parfaitement dans ce processus de changement du climat et plus précisément d'augmentation de la température, vu qu'elle a enregistré ces dernières années des températures inhabituelles et très élevées sur la plupart des régions du territoire national.

Dans les années futures, l'accentuation de ce phénomène va dégrader le confort thermique urbain et amplifier la vulnérabilité de la population urbaine face aux fortes chaleurs (Roux 2014). En effet, la hausse des températures moyennes journalières affecte le confort thermique au milieu urbain ainsi que la consommation énergétique estivale des bâtiments. Par ailleurs, le phénomène d'ICU influe sur la santé publique, particulièrement en période caniculaire. Dans ces conditions, les impacts sanitaires des pics de températures sont multiples, touchant principalement les populations à risques telles que les jeunes enfants et les personnes âgées. Ces vagues de chaleur peuvent également entraîner une augmentation du taux de mortalité.

Pour adapter les villes au climat, il est indispensable de commencer dès maintenant d'agir sur la qualité de vie en milieu urbain (Masson et al. 2013). L'urbanisme durable recouvre d'emblée de multiples dimensions ; environnementale, économique, écologique, sociale, sanitaire et plus largement culturelle. Il s'agit de penser de faire la ville autrement, de créer un autre modèle d'aménagement, d'intégrer de manière conséquente une perspective de développement durable dans la planification urbaine et de développement urbain, mais également, d'inventer d'autres modes de vie, les façons d'habiter, de se déplacer, de consommer.

3. Problématique

Les causes des ICU sont variées, mais la majorité de ces causes sont directement liées à la façon dont on aménage les milieux de vie. Si l'être humain subit souvent les conséquences des ICU, il en est aussi largement responsable. Les pratiques de l'urbanisme et de l'aménagement ont grandement conduit à la création des ICU. Ce phénomène découle de plusieurs facteurs liés à l'urbanisation effrénée, aux méthodes d'aménagement et aux activités humaines.

Plusieurs études menées sur la climatologie urbaine ont montré que l'effet d'ICU peut avoir des retombées néfastes sur l'ambiance extérieure du milieu urbain. De plus, l'effet d'ICU augmente le risque d'inconfort et de santé des habitants voire le taux de mortalité en cas de grandes vagues de chaleur. D'autre part, cette augmentation excessive des températures observées dans les villes, entraîne également de fortes consommations énergétiques pour des raisons de climatisation de l'air (Tsoka 2011).

Par ailleurs, la commune de Taher à Jijel entourée par un ensemble montagneux qui lui provoque un étouffement, et caractérisée par des vents généralement faibles à modérés et des valeurs d'humidité relativement élevées toute l'année, connaît une extension urbaine anarchique et un aménagement urbain dysfonctionnel suite à la croissance urbaine très rapide et non planifiée qui ne respecte pas la dimension environnementale. Ces facteurs ont mis la ville de Taher dans une situation défavorable suite à la génération de plusieurs problèmes qui nuisent au confort des habitants dans leur milieu urbain. Parmi lesquels, l'ICU qui semble être très important et à prendre en considération voire sa relation stricte avec le microclimat urbain. D'autre part, en Algérie, les études et les interventions menées par les spécialistes sur l'environnement urbain ne sont pas suffisantes concernant ce sujet. Par conséquent, les problèmes liés au phénomène de l'ICU sont encore loin d'être résolus.

Partant de cette situation, une question principale est soulevée:

- Existe-t-il aujourd'hui des solutions efficaces et durables pour diminuer l'intensité du phénomène d'ICU dans le cas de la ville de Taher ?

Pour mieux cerner cette question, des sous-questions peuvent être posées:

- L'urbanisme durable présente-t-il un moyen adéquat pour mitiger les effets d'ICU dans la ville de Taher?

- Comment l'urbanisme durable intervient-il dans la lutte contre l'ICU ?

- Sur quels paramètres doit-on agir pour aboutir aux meilleurs résultats ?

4. Hypothèses

Afin de répondre aux questionnements soulignés dans la problématique, nous croyons que les hypothèses suivantes peuvent valider la finalité de notre recherche:

- L'urbanisme durable, par ses éléments, peut contribuer à la diminution des facteurs d'apparition d'ICU en maîtrisant l'étalement urbain, définissant une politique de transport ambitieuse, garantissant des modèles durables de consommation et de production et intégrant la dimension écologique dans le processus d'urbanisation.

- L'ajustement des pratiques de l'urbanisme et de l'aménagement urbain visant à réduire l'excès de la chaleur urbaine en agissant sur l'albédo de la texture des façades, des toitures et

des surfaces minéralisées peuvent être des moyens efficaces pour améliorer les conditions microclimatiques urbaines et par conséquent réduire l'effet d'ICU.

5. Objectifs de l'étude

Notre étude vise à:

- Etablir un état de fait sur le phénomène d'ICU, ses causes, ses impacts sur l'environnement urbain et les diverses solutions antérieures qui peuvent être exploitées pour le cas de la ville de Taher.
- Voir à quel point les caractéristiques thermo-physiques des surfaces extérieures et l'introduction de la verdure peuvent jouer un rôle dans la réduction d'ICU.
- Approfondir les connaissances sur l'urbanisme durable pour cerner ses bienfaits et en tirer profit dans notre intervention sur la ville de Taher dans le cadre d'un développement urbain durable.
- Etablir une relation entre la pratique de l'urbanisme durable et la lutte contre l'ICU pour aboutir à une solution globale face aux problèmes cernés dans notre zone d'intervention.
- Introduire la démarche de l'urbanisme durable dans le cadre du développement urbain de la ville de Taher afin d'améliorer le cadre de vie de ses habitants.

6. Méthode d'investigation

Une synthèse bibliographique et documentaire de sources variées a été établie pour tirer des concepts, des théories et des connaissances sur le thème de la recherche, pour mettre en évidence le problème d'ICU et valoriser la démarche de l'urbanisme durable.

Une analyse diagnostique, basée sur un état des lieux de la ville de Taher à Jijel, est élaborée à partir de l'observation in situ, la consultation des instruments d'urbanisme (POS), et renforcée par la simulation, l'analyse des données et l'interprétation des résultats en utilisant de logiciel Envi-met. Les paramètres étudiés sont la température de l'air ambiant et de l'humidité relative. Les données introduites dans la simulation sont : les données climatiques provenant de la station météorologique d'Achouat et les caractéristiques thermiques des matériaux locaux.

7. Structure de mémoire

Le présent mémoire est composé de deux parties divisées en six chapitres précédées par une introduction générale et terminées par une conclusion générale.

a- L'approche thématique

Elle est appuyée sur une recherche bibliographique relative au thème étudié, en essayant de mettre au clair plusieurs concepts et mots-clés de la recherche. Elle comporte le

chapitre introductif qui traite notre problématique ainsi que les hypothèses et les objectifs et les quatre premiers chapitres.

Le premier chapitre est consacré à dresser un bref aperçu sur la climatologie urbaine et vise à introduire plusieurs aspects du phénomène d'ICU et comprendre son fonctionnement et ses causes. **Le deuxième chapitre** aborde l'urbanisme durable comme un nouveau modèle urbanistique et comme solution face aux problèmes environnementaux et climatiques. **Le troisième chapitre** concerne l'adaptation et les mesures de lutte aux ICU découlant de la pratique de l'urbanisme durable et le **quatrième chapitre** présente un ensemble des études qui ont été menées jusque-là au sujet d'ICU et de l'urbanisme durable.

b- L'approche opérationnelle

Cette deuxième partie est divisée en deux chapitres. **Le cinquième chapitre** consiste à une analyse du site choisi, en l'étudiant de divers points de vue notamment du point de vue morphologique, climatique, etc. **Le sixième chapitre** consiste à une simulation, basée sur un outil informatique avec l'exploitation du logiciel "Envi-met V3.0", en élaborant plusieurs scénarios avec différentes caractéristiques de l'échantillon choisi qui permettent une quantification précise des impacts microclimatiques liés aux paramètres de la végétation et de matériaux sur le confort thermique extérieur.

On essayera, en fin, de conclure notre travail et de tenter de suggérer quelques recommandations en se référant aux résultats obtenus ultérieurement.

Introduction

Les recherches en climatologie urbaine ont permis de démontrer que l'urbanisation avait un impact sur le climat local de la ville comparativement à la campagne. À ce titre, l'ICU est l'un de ces phénomènes issus de la climatologie urbaine qui agit comme une sorte de piège thermique entraînant l'apparition d'un microclimat urbain.

1.1. Climatologie urbaine

1.1.1. Développement de la ville

La ville, qui présente une forte concentration des populations et des activités, est en évolution et augmentation constantes depuis le début de l'ère industrielle. Aujourd'hui, plus de la moitié de l'humanité vit dans les grands centres urbains et les métropoles. Avec cette croissance urbaine, les villes se sont étalées sur un territoire important, dont la structuration urbaine se construit en tâche d'huile. Leurs limites deviennent floues et leurs habitants de plus en plus mobiles.

Il est également à souligner que l'urbanisation accélérée que connaît l'Algérie depuis les années 60 est principalement marquée par ses formes anarchiques et prédatrices. L'extension des villes s'est effectuée sur les zones périphériques urbaines qui se sont faites de manière désordonnée sans tenir compte du statut juridique des terres ni de leur vocation. Ces zones d'habitat urbain se sont développées sans respect rigoureux des normes de construction et d'urbanisme, ni des règles élémentaires de protection de l'environnement (Bouarroudj 2001).

Le développement, l'urbanisation et la densification de la ville changent indirectement le climat de la ville, car la présence de millions d'êtres humains est autant de sources de chaleur (éclairage, chauffage) et de pollution. L'intensité des activités urbaines est directement proportionnelle à la densité de la population. Ainsi, l'apport thermique anthropique aussi bien que l'intensité de la pollution de l'environnement devient d'autant plus important que cette densité; ce qui provoque des rejets de chaleur importants en ville plus élevée qu'en campagne, la dégradation de la qualité de l'air et la modification de la consommation d'énergie (Boulfani 2010).

1.1.2. De la climatologie à la climatologie urbaine

La climatologie est l'étude scientifique du climat. L'approche moderne de cette discipline, contrairement à l'approche purement descriptive, vise à comprendre la dynamique des interactions entre les différentes composantes internes du climat (température, précipitation, pression atmosphérique, vent, humidité de l'air, nébulosité, etc.) ainsi que sa réponse à certains facteurs externes, notamment la radiation solaire.

La climatologie urbaine est une sous-discipline de la climatologie qui s'intéresse plus spécifiquement au microclimat des zones urbaines. En fait, en transformant son environnement naturel, l'urbanisation entraîne des modifications sensibles au climat local. La climatologie urbaine étudie donc, à différentes échelles, les mécanismes complexes issus de l'interaction entre les composantes physiques de l'urbanisation et les éléments du climat (Perreault 2014).

1.1.3. Evolution de climatologie urbaine

La naissance de la climatologie urbaine est généralement attribuée à Luke Howard. En 1818, Howard publia, dans *The Climate of London*, ses premiers travaux sur le climat particulier de Londres. Il avait notamment remarqué, de manière intuitive, que la température était plus élevée en ville que dans les campagnes environnantes; ce qu'il confirma par des prises de données.

À partir des années 1950, on assiste à une recrudescence de l'intérêt pour la climatologie urbaine. Une seconde vague d'intérêt émerge au début des années 1980. L'agrandissement des villes et l'industrialisation entraînent des problèmes de pollution et le mouvement écologique stimule la recherche sur la qualité de l'air. Cette situation amène une opportunité pour les climatologues d'étudier plus en détail les dynamiques atmosphériques en milieu urbain (Perreault 2014).

Actuellement, l'évolution des technologies entraîne des avancées importantes de la connaissance, des nombreux travaux de recherche en climatologie urbaine se sont succédés. L'urbanisme est l'un des domaines qui peut bénéficier d'une telle connaissance pour comprendre l'impact qu'ont les décisions d'aménagement sur la transformation du climat (Ringebach 2009).

1.1.4. Microclimat urbain

Il est possible de différencier quatre types d'échelle des climats: l'échelle globale, l'échelle régionale, l'échelle locale et l'échelle microclimatique. Ce dernier désigne généralement des conditions climatiques limitées à une région géographique très restreinte, significativement distinctes du climat général de la zone où se situe cette région (Ballout 2010). Un microclimat est le climat distinctif d'un secteur à petite échelle, comme un jardin, un parc, une vallée ou une partie d'une ville.

1.1.5. Paramètres affectant le microclimat urbain

La ville est un ensemble hétérogène: minérale et végétale. Elle se compose d'une multitude d'éléments stables et d'autres instables. Les premiers sont bien connus: ce sont les bâtiments, rues, parcs, jardins, plans d'eau. Les seconds, sont des éléments qui changent avec

la temporalité, donc ils sont à la fois dynamiques, volatiles et parfois insaisissable: l'ensoleillement, le vent, le bruit, la lumière, la chaleur, l'odeur représentent les principaux facteurs instables dans un milieu urbain. Cette complexité physique et phénoménologique forme une variété de microclimats (Boulfani 2010).

Lorsque la ville prend de l'ampleur, d'autres facteurs interviennent qui modifient le climat local et même le microclimat donc contribuent à la formation de climat urbain différent, et qui sont: La densité et la taille de la ville, la topographie et le relief, la morphologie, les différentes activités tenant place dans l'espace, la couverture minérale de la ville, la couverture végétale, les étendues d'eau et l'Albédo.

1.1.6. Phénomènes de base influençant l'environnement urbain

Le milieu urbain a souvent montré sa vulnérabilité face aux phénomènes : Le bilan radiatif, température et ICU, rugosité et vent, précipitations, pollution de l'atmosphère et humidité (Boulfani 2010).

1.1.7. Microclimat urbain et chaleur: un système complexe d'interrelations

Le défi de la climatologie urbaine réside dans le fait de comprendre et d'expliquer les interrelations entre les différents éléments du climat dans lequel s'inscrivent la ville et les éléments physiques qui composent cette dernière, et leurs impacts.

La capacité de circulation de l'air, les précipitations et la nébulosité sont des éléments qui influencent la température en milieu urbain. Le bilan radiatif de la ville, démontre que les matériaux qui composent la ville et sa morphologie captent et retiennent une part de chaleur plus importante que les secteurs ruraux environnants et la chaleur anthropique, s'ajoute à ce bilan. Inversement, la chaleur plus élevée des zones urbaines modifie de nombreux éléments de son climat local. C'est ainsi que les climatologues ont constaté la présence d'un microclimat complexe propre aux zones urbaines.

L'ICU occupe une place particulière dans l'univers de la climatologie urbaine, puisqu'il personnalise en lui-même la dimension thermique de la ville. Il est également reconnu comme étant le phénomène le plus marquant du microclimat urbain, présenté à la fois comme sa résultante et sa composante (Perreault 2014).

1.2. L'îlot de chaleur urbain: un sujet brûlant

1.2.1. Définition d'ICU

L'ICU est défini comme étant une zone urbanisée caractérisée par des températures estivales plus élevées que l'environnement immédiat, avec des différences qui varient selon les auteurs de 5°C à 10°C. Il est aussi défini par la différence de température qui existe entre

le centre de la ville et le milieu rural, qui se développe en règle générale la nuit par temps calme (figure 1.1.).

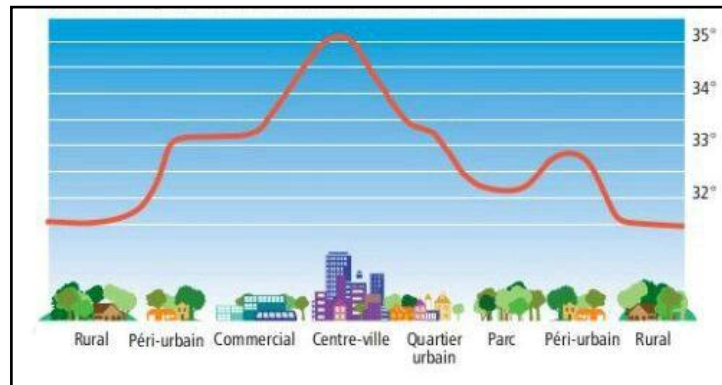


Figure 1.1.: Profil thermique d'un ICU en fin d'après-midi (Source: ADEME)

En effet, les différences de températures entre la ville et la campagne sont plus sensibles la nuit car la ville restitue la chaleur emmagasinée durant la journée plus lentement que son environnement rural. Toutefois, en présence de vent les températures tendent à s'uniformiser et donc à dissiper le phénomène. Son intensité est variable de 3° à 5° en moyenne mais peut atteindre 8° à 10° voir 14° dans des cas extrêmes (Achour-Bouakkaz 2006).

1.2.2. Historique d'ICU

Les ICU étaient déjà présents même avant l'apparition des changements climatiques. Au 19^e siècle, Londres était l'une des villes les plus peuplées de la planète. C'est dans cette ville que l'étude de la climatologie urbaine débuta. Afin de pouvoir mesurer le climat urbain, les outils et procédures nécessaires furent développés.

Le premier à avoir constaté les effets des ICU, sans toutefois nommer le phénomène est Luke Howard. Il a constaté que la ville de Londres, à cause de ses infrastructures, de la population et de la pollution, accumulait plus de chaleur que la campagne voisine. À cette époque, le terme ICU n'était pas encore utilisé, on se limitait à parler seulement de différence de température.

Les origines du terme «ICU» sont floues. Depuis les premières études de Howard, des chercheurs climatologues ont étudié le climat urbain. Par des modèles climatiques en constante évolution, ils ont travaillé à le comprendre. Les instruments de mesure ont continué d'évoluer, des méthodes et outils d'analyses sont devenus disponibles.

Bien que le phénomène d'ICU soit connu depuis plus de 200 ans, il a connu un essor médiatique dans la dernière décennie. Cet engouement médiatique est probablement dû aux catastrophes climatiques et aux effets liés tels que vécus dans plusieurs pays et grandes villes et du fait qu'il est certain qu'ils se reproduiront (Filiatreault 2015).

1.2.3. L'intensité du phénomène d'ICU

On définit l'intensité d'un ICU par la différence de température de l'air de la zone urbaine étudiée avec la température d'un point de mesure de référence situé dans la périphérie rurale. On la note et elle s'exprime en degré Celsius: $\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$

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

T_r : température de l'air du point de mesure de référence dans la périphérie rurale de la zone urbaine étudiée.

L'intensité des ICU varie selon les villes. Elle dépend du climat, de la topographie, de la population, de la morphologie et de l'activité des villes. En moyenne, sur une année, pour des villes ayant un climat tempéré, l'intensité des ICU est de l'ordre de 2°C. En été, ΔT_{u-r} peut s'élever jusqu'à 10°C. ΔT_{u-r} augmente avec la superficie et la population de la ville.

Les différentes études démontrent que l'heure où l'ICU est à son maximum se situe généralement quelques heures après le coucher du soleil. Au cours de la journée, l'ICU relatif à la température de l'air est très faible. La température ambiante en milieu urbain peut même parfois être légèrement plus fraîche en matinée ou en cours de journée (Champiat 2008).

1.2.4. Les conditions optimales de développement du phénomène

Les conditions optimales de développement d'ICU sont de nature météorologique. La condition la plus importante permettant au climat urbain de se différencier de celui des zones rurales voisines est une configuration anticyclonique stable, caractérisée par un ciel dégagé et des vitesses de vents très faibles, inférieures à 3 m/s. Lorsque ces conditions sont réunies, l'intensité des ICU atteint sa valeur maximale (Champiat 2008).

1.2.5. Méthodes employées dans l'identification de l'ICU

En parcourant les différentes études sur les ICU, on dénombre quatre grandes méthodes pour caractériser le phénomène:

1.2.5.1. In-situ : qui consiste à mesurer à l'aide de sondes météorologiques mobiles, la différence de température de l'air entre le milieu urbain et le milieu rural. C'est la méthode la plus répandue pour caractériser l'ICU.

1.2.5.2. La télédétection : l'imagerie satellite permet de connaître la température de surface de terrain, l'indice de végétation et l'albédo. Et ce à l'échelle de toute une ville avec une bonne résolution.

1.2.5.3. La modélisation : des modèles informatiques permettent de simuler la répartition des températures et des flux énergétiques au sein d'un milieu urbanisé.

1.2.5.4. La géomatique : est un outil efficace lorsqu'on souhaite étudier des disparités géographiques de variables liées à un phénomène commun. L'utilisation des systèmes

d'information géographique (SIG) dans le champ des ICU est relativement récente et les études à ce sujet sont peu nombreuses (Roux 2014).

1.2.6. Les différentes échelles d'études de l'ICU

L'effet d'ICU peut être envisagé comme un phénomène global, touchant toute l'aire urbaine. Il peut aussi présenter des variations d'intensité en fonction du lieu, de l'heure et de la méthode d'observation. Les méthodes de mesure des phénomènes microclimatiques urbains, ont permis de différencier trois couches dans le tissu urbain et son atmosphère. Ces couches correspondent chacune à une échelle verticale distincte.

1.2.6.1. La couche limite urbaine (UBL)

La couche limite urbaine est constituée par la couche d'air située au-dessus des bâtiments du tissu urbain (figure 1.2.). L'échelle considérée ici est méso-urbaine et de l'ordre de kilomètre. Elle présente des caractéristiques différentes des couches d'air situées au-dessus des zones rurales: température plus élevée et composition chimique caractérisée par de fortes concentrations en polluants atmosphériques.

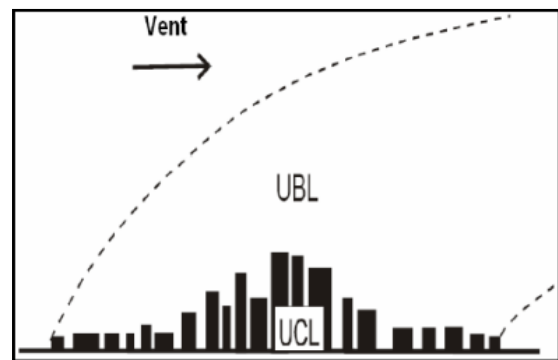


Figure 1.2. : Schéma de la couche limite urbaine (Source: Boukhabla 2015)

L'étude du phénomène d'ICU au niveau de la couche limite urbaine implique de ne considérer qu'un îlot unique, surplombant la ville et caractérisé par une température globale de l'air plus élevée que dans la périphérie rurale.

1.2.6.2. La couche de canopée urbaine (UCL)

La couche de canopée urbaine est constituée du volume d'air compris entre les bâtiments, le sol et une surface imaginaire située au-dessus du toit des bâtiments (figure 1.3.). L'échelle considérée ici est infra-urbaine et de l'ordre de dizaine de mètre. L'unité urbaine de référence pour l'étude des phénomènes microclimatiques de la couche de canopée urbaine est le canyon urbain. Le canyon urbain est l'espace entre deux bâtiments adjacents, qui s'étend le long d'un tronçon de voie, et dont les limites horizontales sont le sol et le toit de bâtiments.

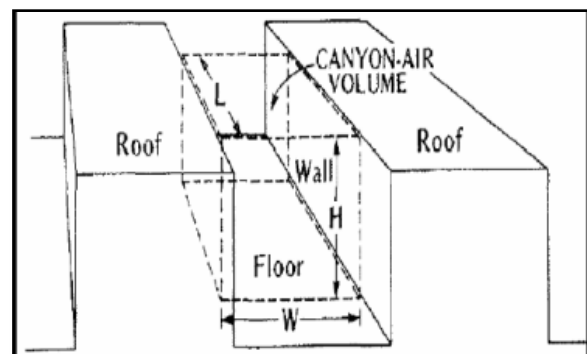


Figure 1.3. : Schéma du canyon urbain (Source: Boukhabla 2015)

L'ICU de la couche de canopée urbaine concerne la manifestation du phénomène dans les canyons urbains. Sa compréhension nécessite l'étude du volume d'air du canyon urbain ainsi que ses échanges avec les surfaces. A cette échelle, le phénomène est caractérisé par une variabilité spatiale importante qui se manifeste particulièrement en journée.

1.2.6.3. La couche de surface (SL)

La mesure de la température des surfaces en ville grâce à la télédétection a permis de mettre en évidence une troisième couche d'étude des microclimats urbains. Il s'agit de la couche de surface. Elle comprend toutes les surfaces horizontales de la ville et la fine couche d'air (quelques cm) située au-dessus des surfaces (figure 1.3.). La température au niveau de cette couche d'air est fortement influencée par les échanges thermiques avec les surfaces.

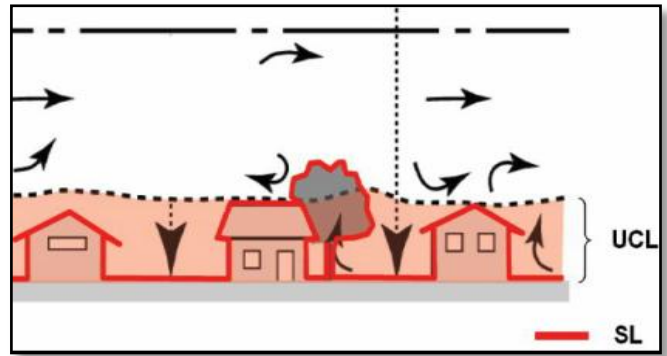


Figure 1.4. : Schéma de la couche de canopée urbaine et la couche de surface (Source: Boukhabla 2015)

L'échelle considérée au sein de la couche de surface est micro-urbain. Elle est de l'ordre de quelques mètres voire quelques centimètres.

Les températures de surface et les températures de l'air peuvent varier sur des distances très courtes. Ainsi, c'est au sein de la couche de surface que l'on va rencontrer les plus grandes variabilités spatiales du phénomène d'ICU.

Dans la couche de surface, la formation et l'intensité des ICU sont gouvernées par les propriétés radiatives et thermiques des matériaux et la géométrie des rues (Boukhabla 2015).

1.2.7. Facteurs à l'origine de la formation de l'ICU

Ces différents facteurs peuvent être répartis en deux groupes, soit les facteurs contrôlables et les facteurs incontrôlables. Cette contrôlabilité réfère à la capacité d'intervenir ou non sur ces variables.

Ce sont les éléments contrôlables relatifs à la conception urbaine (ex.: couvert forestier) et les éléments incontrôlables relatifs aux conditions météorologiques (ex.: présence de nuages) qui déterminent la part de rayonnement atteignant la zone urbaine (Perreault 2014).

1.2.7.1. Propriétés thermiques des matériaux

La température des surfaces varie en fonction des propriétés thermiques des matériaux. Contrairement aux surfaces végétales, les surfaces minérales ont la capacité d'emmagasiner une certaine quantité de chaleur, principalement au contact des rayons solaires. Ces matériaux

possèdent trois caractéristiques thermiques importantes: un niveau de réflectance (albédo), une émissivité thermique et une capacité thermique. Ces caractéristiques déterminent la façon dont le matériau reçoit, emmagasine et relâche la chaleur.

- **La réflectance ou l'albédo:** représente la capacité du matériau à réfléchir les rayons reçus. Elle est intimement liée à la couleur du matériau. Plus il est foncé, plus il absorbera la chaleur issue des rayons solaires et, inversement, plus il est pâle, plus il aura tendance à réfléchir ces mêmes rayons. De même, un matériau rugueux sera plus chaud qu'un matériau lisse; ce dernier réfléchissant mieux les rayons.

Tableau 1.1. : Albédo et facteur d'émission thermique de différents matériaux

Matériau	Facteur d'émission	Albédo
Aluminium poli	0,1	0,9
Béton sale	0,9	0,2
Bois foncé	0,95	1,5
Brique rouge	0,9	0,3
Cuivre terni	0,4	0,4
Marbre blanc	0,9	0,6
Peinture blanche	0,9	0,8
Plâtre	0,9	0,9

(Source: Perreault 2014)

Les nombreuses surfaces artificielles des milieux urbanisés sont en grande partie composées de matières minérales, tels que l'asphalte, le goudron, le gravier et le béton, toutes ayant de faibles albédos. La multiplication de ces surfaces (routes, aires de stationnement, toits goudronnés, murs de briques, etc.) est l'un des plus importants facteurs de création des ICU.

- **L'émissivité thermique:** réfère plutôt à la capacité du matériau à réémettre par rayonnement une part de l'énergie qu'il a absorbée. Les surfaces ayant une plus grande émissivité restent généralement plus fraîches puisqu'elles relâchent davantage de chaleur. Il est alors intéressant de considérer, en parallèle, l'inertie thermique du matériau. Cette caractéristique définit la rapidité avec laquelle la température d'un matériau s'équilibre avec la température de son environnement immédiat.

- **La capacité thermique:** détermine la quantité de chaleur pouvant être stockée. Les matériaux utilisés dans la construction, comme le métal et le béton, peuvent absorber une plus grande part de chaleur que la terre ou le sable. Cette caractéristique explique que les villes, par leurs infrastructures urbaines, emmagasinent davantage de chaleur. Pendant la journée, un centre-ville peut absorber deux fois plus de chaleur que les secteurs ruraux environnants (Perreault 2014).

1.2.7.2. Végétation

L'urbanisation entraîne une perte du couvert forestier naturel au profit des immeubles et des infrastructures urbaines. Or la végétation joue un rôle important dans la régulation de la chaleur par le biais de l'ombrage et de l'évapotranspiration.

La végétation n'emmagasine pas la chaleur pour ensuite la relâcher. Elle consomme plutôt l'énergie (chaleur latente) pour permettre l'évaporation de l'eau qu'elle consomme; c'est le processus d'évapotranspiration. L'air ambiant cède ainsi une part de sa chaleur et se rafraîchit. L'évaporation consomme 597 Kcal par gramme d'eau évaporée à 0° C et 575 Kcal à 40° C (Perreault 2014).

1.2.7.3. Imperméabilité des surfaces urbaines et gestion de l'eau

La diminution des surfaces minéralisées imperméables favorise non seulement le rafraîchissement urbain mais contribue également à la gestion de l'eau. L'accroissement des superficies perméables permettrait d'absorber une part substantielle des précipitations, allégeant la pression sur le système d'égouts en plus de constituer des réserves pour l'évaporation. Les espaces verts en milieu urbain emmagasinent jusqu'à 99 % des pluies fines de moins de 5mm et 50 % des fortes pluies (Perreault 2014).

1.2.7.4. Morphologie urbaine

La morphologie urbaine réfère aux formes tridimensionnelles de la ville ainsi qu'à l'espacement et à l'orientation des bâtiments. Les chercheurs font souvent référence à la notion de « canyon urbain » comme unité de paysage représentant le ratio entre l'espace entre deux îlots de bâtiments et la hauteur de ces derniers.

Un canyon urbain, constitué d'une rue étroite bordée de bâtiments de grande hauteur, peut limiter la ventilation et garder captive la chaleur issue du rayonnement solaire et des activités humaines. Inversement, les immeubles en hauteur offrent un ombrage qui limite le rayonnement à l'intérieur du canyon urbain. L'orientation des rues et des bâtiments influence aussi l'écoulement de l'air à l'intérieur des quartiers (Perreault 2014).

1.2.7.5. Chaleur anthropique

La chaleur anthropique est constituée des pertes de chaleur issues de l'activité humaine. Si son impact est relativement limité en période estivale, elle constitue l'une des principales causes de formation de l'ICU en hiver.

La chaleur issue du chauffage des bâtiments, de l'utilisation des automobiles, des climatiseurs ou de l'activité industrielle s'échappe dans l'atmosphère urbaine et contribue à la formation de l'ICU. Son impact est accentué dans les secteurs généralement denses (Perreault 2014).

1.2.8. Impacts et effets

1.2.8.1. Impacts sur l'environnement

a. Détérioration de la qualité de l'air extérieur

Les ICU contribuent à la formation du smog. En effet, le smog, composé de particules fines et d'ozone troposphérique, se forme lors de la réaction entre les rayons du soleil, la chaleur et les polluants (oxydes d'azote (NO_x) et composés organiques volatils (COV)).

b. Détérioration de la qualité de l'air intérieur

La chaleur accrue a un effet sur la qualité de l'air intérieur, car elle favorise la multiplication des acariens et des bactéries. De plus, certaines substances toxiques, telles que les formaldéhydes, contenues dans les colles utilisées dans la fabrication des meubles et les matériaux de construction, sont libérées lors de fortes chaleurs.

c. Hausse de la demande en énergie

Les besoins de rafraîchissement de l'air intérieur et de réfrigération peuvent générer une hausse de la demande en énergie ayant comme conséquence l'émission de gaz à effet de serre selon la source d'énergie employée.

d. Hausse de la demande en eau potable

En raison des ICU, une hausse de la demande en eau potable, pour se rafraîchir (exemples: piscines et jeux d'eau) ou pour hydrater les aménagements végétalisés, est probable.

1.2.8.2. Impacts sur la santé

La chaleur accablante engendrée par les ICU peut provoquer des inconforts, des faiblesses, des troubles de la conscience, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur, voire exacerber les maladies chroniques préexistantes comme le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort (Giguère 2009).

1.2.8.3. Impacts sur le confort thermique

De fait, l'ICU a des répercussions sur le confort, la morbidité et la mortalité des franges les plus vulnérables de la population. Une chaleur excessive peut en effet causer des torts allant d'un léger inconfort jusqu'à porter atteinte à la santé des personnes (Dubois 2014).

Conclusion

Le phénomène d'ICU constitue un enjeu environnemental majeur et doit être considéré, à ce titre, d'une manière extrêmement sérieuse. Il doit apparaître comme un avertissement sur les limites de l'urbanisme actuel et appeler à des réflexions constructives sur la conception environnementale de la ville de demain.

Introduction

Le modèle urbain jusqu'à ces dernières années a été construit sur l'illusion de ressources illimitées (en espace et en énergie). Aujourd'hui, on ne peut plus étendre la ville sans grignoter les espaces agricoles et naturels, sans causer des impacts sur l'environnement (pollution, consommation d'énergie...). Une nouvelle culture de penser l'urbanisme de manière à affronter les différents enjeux climatiques, et énergétiques, se dessine à travers la notion de l'urbanisme durable.

2.1. Définition de l'urbanisme durable

L'urbanisme durable peut être défini comme un nouveau mode d'organisation du territoire urbain prenant en compte les principes du développement durable dans ses composantes économiques, environnementales et sociales. L'urbanisme durable peut également être considéré comme un nouveau modèle urbanistique permettant d'avoir un impact sur l'atténuation du réchauffement climatique (Chamberlin 2010).

La durabilité dans l'urbanisme s'appuie classiquement sur 4 piliers:

- Le pilier culturel: tout projet d'urbanisme durable doit inclure une valeur ajoutée culturelle.
- Le pilier économique: il n'y a pas d'urbanisme durable sans prise en compte des coûts collectifs et des coûts de maintenance sur le long terme.
- Le pilier social: il n'y a pas non plus d'urbanisme durable sans recherche de qualité de vie et de création de lien social.
- Le pilier environnemental: l'urbanisme durable doit être éco-efficient (objectif «zéro déchet», matériaux performants, utilisation des énergies renouvelables...) (Jenkins 2005).

2.2. L'apparition de l'urbanisme durable

En 1994, l'ICLEI (Conseil International pour les Initiatives Locales en Environnement) organise la conférence européenne sur les villes durables dans la ville d'Aalborg, au Danemark. C'est au cours de cette conférence qu'est adoptée la « charte des villes européennes pour un développement durable », plus connue sous le nom de « charte d'Aalborg » (Chamberlin 2010).

La charte est adoptée par plus de 650 administrations régionales, locales et municipales dans 32 pays européens. Le concept de ville durable apparaît. Cette nouvelle charte est un texte de référence pour un urbanisme « durable ». Elle ouvre la voie à une nouvelle génération de politiques urbaines, moins sectorielles, qui tentent d'intégrer les impacts du développement

sur l'environnement à court, moyen et long terme, compris dans une dimension écologique et sociale (l'environnement quotidien).

Il se renforce en 1996 lors de la conférence sur les villes durables européennes, à Lisbonne. L'esprit est tourné vers la déclinaison du concept, car s'il est alors souligné qu'un nombre croissant de collectivités locales se rallient aux principes retenus dans la « charte d'Aalborg ». Par la suite le concept va continuer à se développer, avec une législation qui se renforce peu à peu dans ce sens (Chamberlin 2010).

2.3. Facteurs d'apparition de l'urbanisme durable

L'homme et son activité sont considérés comme responsables (au moins en partie) du réchauffement climatique, de par l'influence des activités humaines sur l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (comme le CO₂) qui provoquent ce changement climatique.

C'est ainsi que la question énergétique apparaît. L'énergie, en effet, représente un levier d'action important en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en ce qu'il représente la majeure partie de ces émissions. Face à ces constats, il n'y a pas de solution magique. Plusieurs leviers peuvent être actionnés, et l'urbanisme en fait partie. C'est un élément important de la solution d'ensemble, une des causes importantes de l'accroissement important de la consommation énergétique, et ainsi du réchauffement climatique. Les aires urbaines, notamment à travers le chauffage de leurs habitants ainsi que les déplacements à l'intérieur de ces aires, sont en partie responsables des émissions de gaz à effet de serre. Un mode d'organisation de l'espace peut permettre une réduction des besoins de déplacements, une prise en compte des énergies renouvelables sur le territoire, une réduction des besoins en chauffage.

L'urbanisme durable, n'est que très peu nommé en tant que tel (le concept de ville durable est beaucoup plus utilisé), mais il semble être la dénomination qui convient le mieux au nouveau modèle urbanistique souvent évoqué, en relation avec une territorialisation du développement durable (Chamberlin 2010).

2.4. Les finalités de l'urbanisme durable

L'urbanisme durable est une démarche intégrée et globale qui, comme toute démarche, doit être définie à partir de ses finalités ou des objectifs à l'échelle des territoires urbains.

▪ **Finalité 1: Lutter contre les changements climatiques et la protection de l'atmosphère**

Un des principaux problèmes mondiaux réside aujourd'hui dans l'évolution et l'instabilité du climat mondial et local et à la hausse des températures, liées au renforcement de l'effet de serre. Cette finalité se décompose en deux cibles:

- Cible 1: Réduire les émissions de gaz à effet de serre.

- Cible 2: Economie de l'énergie.

▪ **Finalité 2: Préserver les ressources naturelles**

La notion de ressources naturelles s'est élargie depuis quelques décennies. Peuvent désormais être considérées comme telles les surfaces de sol disponibles, la qualité de l'eau ou de l'air, l'aspect des paysages, la biodiversité. Cette dernière est une composante majeure de la durabilité des écosystème, dont dépendent, directement ou indirectement, toutes les sociétés humaines (Charlot et Outrequin 2011).

Nous distinguons quatre cibles principales:

- Cible 1: Améliorer la gestion locale de l'eau.
- Cible 2: Optimiser la consommation d'espace.
- Cible 3: Optimiser la consommation des matériaux.
- Cible 4: Améliorer la qualité de l'environnement local.

▪ **Finalité 3: Améliorer la qualité de l'environnement local**

L'urbanisme durable demande que soient pris en considération les impacts de projets sur les écosystèmes, ainsi que sur les espaces de vie et la santé humaine. Cette finalité se décompose en huit cibles:

- Cible 1: Renforcer les aspects liés à la santé et à la sécurité.
- Cible 2: Renforcer la qualité de l'environnement des bâtiments.
- Cible 3: Préserver et améliorer le paysage.
- Cible 4: Préserver et valoriser le patrimoine.
- Cible 5: Assurer la qualité des espaces publics.
- Cible 6: Réduire les nuisances relatives aux chantiers.
- Cible 7: Améliorer la gestion des déchets.
- Cible 8: Eviter les déplacements contraints.

▪ **Finalité 4: Favoriser l'équité sociale**

L'équité sociale est une des cinq finalités pour le développement durable à l'échelle du territoire. Il s'agit de recréer ou de renforcer le lien entre les humains, entre les sociétés et entre les territoires afin d'assurer le partage des richesses. Cette finalité se décompose en quatre cibles:

- Cible 1: Assurer un logement décent à chacun.
- Cible 2: Assurer un accès à des services publics efficaces.
- Cible 3: Favoriser l'accès à l'emploi.
- Cible 4: Lutter contre l'exclusion professionnelle et sociale.

▪ **Finalité 5: Favoriser la mixité et la diversité**

La mixité urbaine, qui se traduit par la présence d'équipements et de services de proximité, et la mixité sociale dans l'agglomération afin d'éviter les phénomènes de ghettoïsation sont deux aspects fondamentaux de l'urbanisme durable. Ainsi que favoriser un développement de l'économie locale vivante et dynamique permet de créer ou de maintenir un haut niveau de relations sociales (Charlot et Outrequin 2011).

Cette finalité se décompose en trois cibles :

- Cible 1: Garantir la cohérence sociale du territoire.
- Cible 2: Maintenir et renforcer l'économie locale.
- Cible 3: Favoriser la ville multipolaire.

▪ **Finalité 6: Maintenir et renforcer le lien social et la solidarité**

Cette finalité reprend partiellement une des cinq finalités du développement durable. La solidarité est aussi indissociable d'une recherche permanente d'équité, ce que mettent en avant les défenseurs du développement « durable et solidaire » (Charlot et Outrequin 2011).

Cette finalité se décompose de trois cibles :

- Cible 1: Favoriser les activités renforçant le lien social et les solidarités.
- Cible 2: Favoriser ou renforcer les liens entre les territoires.
- Cible 3: Favoriser les solidarités Nord-Sud.

▪ **Finalité 7: Maintenir et renforcer l'attractivité pour un développement économique durable**

L'attractivité économique du territoire doit être liée autant que possible au développement de modes de production et de consommation durables. L'attractivité et le développement économique des territoires seront encouragés et soutenus grâce à une meilleure synergie et mise en cohérence des actions, tant publiques que privées, des expérimentations et des innovations (Charlot et Outrequin 2011).

Cette finalité se décompose en quatre cibles :

- Cible 1: Favoriser l'attractivité économique du territoire.
- Cible 2: Favoriser le transfert des bonnes pratiques et le développement des technologies durables.
- Cible 3 : Favoriser le développement et mode de production et de consommation durables.
- Cible 4 : Favoriser une gestion durable du territoire.

2.5. Les éléments de l'urbanisme durable

Le concept d'urbanisme durable peut être considéré selon des optiques différentes:

2.5.1. Un étalement urbain maîtrisé

La maîtrise de l'étalement urbain est aujourd'hui un sujet de préoccupation majeure à différentes échelles (continentales, nationales, locales). Une étude de l'Agence Européenne pour l'Environnement de 2006 définit l'étalement urbain comme un « phénomène qui intervient dans une zone déterminée lorsque le taux d'occupation des terres et l'utilisation de celles-ci à des fins d'urbanisation sont plus rapides que la croissance de la population sur une période donnée ». Pour lutter contre l'étalement urbain, des stratégies de densification sont bien souvent prônées. On parle alors de ville dense ou de ville compacte.

2.5.2. Une mixité des fonctions urbaines et une proximité renforcée

Le concept de mixité fonctionnelle est aujourd'hui étroitement lié à celui d'urbanisme durable. Le fait d'instaurer, dans les quartiers, les espaces de vie, les différentes fonctions urbaines telles que l'habitat, le commerce, les services publics ou encore l'entreprise met (ou remet) la notion de proximité au centre du jeu. L'idée est encore de réduire les besoins en déplacements en permettant à un maximum de ces derniers de s'effectuer dans un espace proche: « Il nous faut réorganiser la ville de telle sorte que la grande majorité des déplacements s'effectuent dans l'espace de proximité ». L'espace de proximité peut représenter différentes échelles territoriales: un village, un bourg centre, un quartier d'une ville, une ville nouvelle.

2.5.3. Un habitat à faible consommation énergétique

Agir sur le bâti, sur la consommation du bâtiment, est aujourd'hui fondamental dans un but de réduction de la consommation énergétique. L'action dans ce domaine peut se porter sur la construction neuve de logements. L'action sur le bâti ancien est peut être encore plus importante, en ce que les consommations énergétiques y sont extrêmement élevées. La rénovation thermique des bâtiments semble constituer aujourd'hui un enjeu majeur. Il s'agit d'encourager la mise en place de travaux d'isolation et de rénovation thermique.

2.5.4. Une politique de transports ambitieuse

Dans cette ville l'automobile joue un rôle crucial. Les questions de mobilité, de déplacement pour les habitants ont été pensées en fonction d'elle. Ainsi l'évolution vers un urbanisme durable se pose en termes de mobilité. La question du changement climatique oblige à repenser cette mobilité liée à l'automobile. Il s'agit notamment pour cela de favoriser les modes de déplacement les moins émetteurs de gaz à effet de serre afin de permettre un report modal et de diminuer la part des déplacements en voiture.

2.5.5. Une nouvelle gouvernance urbaine

La notion de gouvernance est aujourd'hui entrée dans les problématiques de l'aménagement du territoire. L'urbanisme durable tel qu'explicité par de nombreux auteurs comprend cette notion de gouvernance urbaine, à travers deux éléments: la répartition des compétences et la participation de tous.

Il est à noter que la compétence en matière d'urbanisme revient principalement aux communes. La participation des citoyens et acteurs privés peut prendre différentes formes: conférences d'information, sensibilisation du grand public, consultation des usagers, ateliers de concertation, réelle participation et co-production de l'action publique.

2.5.6. Une plus grande maîtrise du foncier

En poussant à l'étalement urbain et en entravant la possibilité pour tous d'accéder au logement, son prix constitue un des principaux obstacles à l'urbanisme durable. Mais au contraire, un prix du foncier trop peu élevé causé par une déprime du marché immobilier peut provoquer une réticence des autorités locales à fortement réglementer les constructions. Face à ce constat, la solution d'une meilleure maîtrise et régulation des sols par les collectivités et l'intervention de la puissance publique est à étudier. (Chamberlin 2010).

2.6. Les principes de l'urbanisme durable

Les démarches de développement durable vont de pair avec un ensemble de principes définissant le cadre de l'action. On retrouve dans ces principes un grand nombre de ceux exprimés dans la déclaration de Rio en 1992. Leur raison d'être est de s'obliger à s'interroger sur les modalités de l'action. On peut citer les huit principes d'action suivants pour un développement urbain durable (Charlot et Outrequin 2011) :

▪ Principe 1: l'universalité et des principes éthiques

La démarche de développement durable est avant tout centrée sur l'homme : « le développement durable n'a aucun sens sans les droits humains ».

▪ Principe 2: La transversalité des approches

Cette transversalité implique de nouvelles façons de travailler, partenariales et pluridisciplinaires, plus transparentes.

▪ Principe 3: La participation des différents acteurs

La participation des différents acteurs (habitants, usagers, acteurs socio-économiques) est un principe fort du développement durable pouvant contribuer à un meilleur partage des connaissances et à la reconnaissance des compétences.

▪ Principe 4: Une stratégie d'amélioration continue

Une telle stratégie doit être fondée sur le pragmatisme, la réactivité et la faculté de s'adapter (ou principe de résilience). En engageant un partenariat très en amont, il est nécessaire que le ou les maîtres d'ouvrage fixent relativement rapidement un cadre dans lequel puissent s'inscrire les partenaires.

▪ **Principe 5: la prise en compte des temps différents des acteurs et des projets**

La précaution, qui devrait plutôt être une politique, un principe doit naviguer entre:

- Des dispositifs de prévention et de sure.
- Des mesures d'anticipation du risque fondée sur l'absence de certitude scientifique et sur la crainte du choix irréversibles, laquelle peut parfois amener à une certaine paralysie.

▪ **Principe 6: la responsabilité**

Le principe de responsabilité consiste à faire que les effets de l'action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre. Ce principe de responsabilité n'est pas à prendre de façon juridique (bien que les questions de responsabilité règlent effectivement sur le terrain judiciaire), il s'agit d'une responsabilité plus globale que l'on peut rapprocher du concept de l'intérêt général.

▪ **Principe 7: la mise en place de nouvelles règles économiques**

Une économie durable doit inciter les producteurs et les consommateurs à privilégier des biens et des services plus économes en ressources non renouvelables (énergie, espace, eau, matières premières,.. etc.) et moins polluants.

▪ **Principe 8: évaluation et le suivi**

L'évaluation et le suivi constituent des éléments de démocratie locale et contribuent à l'élévation du niveau culturel des habitants et des acteurs économiques.

2.7. Les principales formes de l'urbanisme durable

2.7.1. New urbanisme

Le nouvel urbanisme, qui a émergé dans les années 80, va à l'encontre des principes des grands ensembles, notamment en favorisant une densité, une échelle d'aménagement et un rapport entre le bâti et les vides plus favorables aux piétons et aux cyclistes. Ce mouvement a notamment pour objectif de réhumaniser l'espace urbain, en le rendant plus diversifié, avec des quartiers et des bâtiments dont la forme, la superficie, le style et les couleurs varient. Le nouvel urbanisme cherche également à faire vivre ensemble les différentes populations sociales qui peuplent une ville.

Plusieurs critères d'aménagement sont édictés : des centres-villes, parcs, écoles et commerces accessibles à pieds, des constructions non recluses et alignées en façade, une offre résidentielle diversifiée, un réseau de transports divers et dense pour véhicules (automobile et

transport en commun), cyclistes et piétons et, notamment, une place plus importante pour la végétation (site 1).

2.7.2. HQE Aménagement

La démarche HQE-Aménagement définit un cadre pour la réalisation d'opérations d'aménagement intégrées à leur territoire, dont la maîtrise d'ouvrage assure dans le temps la bonne gouvernance et la faisabilité du programme. Elle est décrite dans un document: le Référentiel HQE-Aménagement, constituant ainsi un outil de gestion de projet destiné aux opérations d'aménagement avec une visée de développement durable. Cette démarche peut s'appliquer à toute opération d'aménagement sans distinction de taille, de procédure, de contexte territorial ou de destination : renouvellement ou neuf, urbain ou rural, habitat ou activités (Chambre de l'Ingénierie et du Conseil de France).

2.7.3. HQE2R

La démarche pour la transformation durable d'un quartier est issue d'un projet européen sur l'intégration du développement durable dans les projets d'aménagement et de renouvellement urbain à l'échelle des quartiers et leurs bâtiments. Il s'agissait de répondre à la question: Comment assurer la prise en compte du développement durable à l'échelle du quartier, dans les opérations de renouvellement urbain et d'aménagement comme dans la gestion du quartier afin d'assurer la meilleure qualité de vie possible pour tous (site 2).

L'objectif du projet HQE2R est de fournir des outils, des méthodes, des guides de recommandations ou de bonnes pratiques pour les différentes étapes du processus ou d'un projet d'aménagement ou de renouvellement urbain (site 3).

2.7.4. Ecoquartier

Le terme écoquartier renvoie le plus souvent à l'idée de performances énergétiques et environnementales en lien avec les bâtiments, le traitement de l'eau et des déchets ou la biodiversité. Un écoquartier doit aussi être un quartier durable, intégrant des considérations liées aux transports, à la densité et aux formes urbaines, mais également à une meilleure mixité sociale et fonctionnelle avec la participation de la société civile (site 4).

Conclusion

Au niveau de la ville, la prise en considération des principes du l'urbanisme durable vise à répondre à tous les enjeux et problèmes qui découlent de l'expansion grandissante des villes. Ce phénomène n'est pas nouveau, l'urbanisme est né justement pour répondre aux besoins du développement urbain.

Introduction

La lutte aux ICU est un enjeu majeur à intégrer dans l'aménagement urbain. L'offre des îlots de fraîcheur au cœur des villes, vise l'amélioration de la qualité de vie des citoyens et entraîne un investissement responsable et durable.

3.1. L'îlot de fraîcheur urbain

3.1.1. Définition de l'îlot de fraîcheur urbain

Un îlot de fraîcheur urbain (IFU) est défini par un périmètre urbain dont l'action rafraîchissante permet d'éviter ou de contrer directement ou indirectement les effets des ICU.



Figure 3.1. : Vues générales sur deux types d'îlots. à gauche : Un ICU, à droite : Un IFU (Source: Fernandez et Deshaies 2013)

L'existence d'un IFU découle directement de :

- La présence de végétation qui contribue, par l'ombrage et/ou l'évapotranspiration, à rafraîchir l'air.
- L'utilisation de matériaux généralement pâles, donc présentant un albédo élevé, lesquels contribuent à réfléchir la chaleur ambiante (Fernandez et Deshaies 2013).

3.1.2. Les formes des IFU

En ville, les IFU peuvent se présenter sous diverses formes. Il peut s'agir de toits blancs, d'espaces verts (parcs, jardins), de structures verdies (murs végétalisés), d'arbres de rue, de portions de terre en culture ou en friche,... etc (Fernandez et Deshaies 2013).

3.1.3. Le rôle d'IFU

L'ombrage des arbres contribue à réduire la température de surface du sol, des bâtiments et des infrastructures. En effet, la canopée, là où se trouve plus de 80 % du feuillage, capte la majorité de l'énergie solaire. Un arbre dont la canopée est légère intercepte entre 60 et 80 % de la lumière du soleil, tandis qu'un arbre dont la canopée est dense intercepte jusqu'à 98 % de cette lumière.

Quant à l'évapotranspiration, elle se produit naturellement par :

- La transpiration des plantes qui, après avoir absorbé l'eau du sol pour en capter les éléments nutritifs, en relâchent une partie par leurs feuilles.

- L'évaporation de l'eau contenue dans le sol. Afin de s'évaporer, cette eau absorbe la chaleur de l'air ambiant, causant ainsi un refroidissement localisé.

De plus, les végétaux absorbent du dioxyde de carbone et captent d'autres contaminants, poussières et particules fines, améliorant ainsi la qualité de l'air. La végétation aurait donc la capacité de capter certains éléments à l'origine de la formation du smog et de lutter contre le réchauffement.

Le choix des matériaux de construction en fonction de leur albédo peut également contribuer à lutter contre les ICU. Ainsi, les matériaux utilisés doivent-ils être sélectionnés en fonction d'un albédo élevé, pouvant réfléchir davantage les rayons plutôt que de les absorber (Fernandez et Deshaies 2013).

3.1.4. Les bienfaits des IFU

Les arbres présents dans les boisés ont la capacité de filtrer jusqu'à 85 % des particules en suspension dans l'air. Cela contribue à améliorer la qualité de l'air respiré par les populations et à diminuer l'incidence de certaines maladies.

De plus, la présence de végétation a des effets positifs sur la gestion du stress, la fatigue mentale et l'état d'esprit, améliorant ainsi la qualité de vie des citoyens. La beauté et les commodités associées à ces milieux incitent à la pratique d'activités physiques, telles que la marche.

Les environnements verts permettraient également de réduire les inégalités en santé, ainsi que les inégalités matérielles et sociales. Ces espaces, incluant les arbres et les herbes, inciteraient aux contacts entre voisins et renforceraient les liens de voisinage, augmentant ainsi la surveillance des lieux et réduisant potentiellement les actes criminels.

Enfin, les arbres ont une valeur économique: ils réduisent la quantité d'infrastructures de drainage nécessaires et les coûts liés au risque accru d'inondations et de débordements (Fernandez et Deshaies 2013).

3.2. Les mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains découlant de la pratique de l'urbanisme durable

Les bénéfices des stratégies de la ville durable s'observent à plusieurs niveaux: environnementaux, sanitaires, esthétiques et qualité de vie. Elles ont une incidence positive tant sur le climat local que sur le climat global. Ces mesures ont été regroupées en quatre catégories:

- Les mesures de végétalisation.

- Les mesures liées aux infrastructures urbaines (architecture et aménagement du territoire).
- Les mesures de gestion des eaux pluviales et de perméabilité du sol.
- Les mesures de réduction de la chaleur anthropique (El Atari et Abou 2015).

3.2.1. Végétation et fraîcheur

La végétation permet de créer de la fraîcheur par différents processus, plus précisément: L'ombrage saisonnier des infrastructures, l'évapotranspiration et la minimisation des écarts de température au sol.

3.2.1.1. Stratégie urbaine de végétalisation

Une stratégie de végétalisation en milieu urbain a pour objectif d'augmenter l'indice global de végétalisation d'une ville. À cette fin, la végétation peut être disposée ou densifiée dans de nombreux espaces, comme :

- Le long des axes de transport (platebandes de rues, ruelles, lignes ferroviaires, etc.).
- Sur les terrains publics (parcs, terrains municipaux et gouvernementaux, cours d'école, cours de centres de la petite enfance, etc.).
- Sur les terrains privés (pourtours de bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, ruelles, etc.).

Il est à noter que les terrains de gazon artificiels ne permettent pas un rafraîchissement de l'air ambiant. Au contraire, ces terrains, dont les fibres synthétiques absorbent la chaleur, peuvent atteindre une température jusqu'à 10 °C de plus qu'un milieu naturel végétalisé. En outre, ils sont rarement perméables.

3.2.1.2. Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation

Une croissance optimale des arbres plantés sur les rues est possible grâce à des aménagements dits cellulaires. Ce type d'aménagement comprend l'utilisation de structures offrant l'espace requis au développement complet des racines sous un recouvrement partiel d'asphalte. Également, le drainage des eaux de pluie est facilité grâce à la présence d'un sol de qualité.

3.2.1.3. Végétalisation des stationnements

Afin de diminuer la chaleur qu'emmagasinent ces surfaces asphaltées et les voitures qui s'y garent, il est conseillé d'aménager de la végétation sur le pourtour (bandes végétalisées) et à l'intérieur (îlots végétalisés) des espaces de stationnements. L'objectif est de créer de l'ombre sur les surfaces asphaltées. L'ombrage des arbres protégera également les revêtements des grandes variations thermiques et prolongera leur durée de vie (El Atari et Abou 2015).

3.2.1.4. Végétalisation du pourtour des bâtiments

Pour une fraîcheur optimale, l'aménagement du pourtour d'un bâtiment doit protéger celui-ci du rayonnement solaire. En effet, la texture et la nature des sols entourant le bâtiment en déterminent en partie la température intérieure et extérieure. La végétation permet de garder un sol plus frais et d'éviter le rayonnement solaire direct, réfléchi et diffus pouvant affecter la fraîcheur du bâtiment (Giguère 2009).

3.2.1.5. Murs végétaux

Les murs végétaux sont des écosystèmes verticaux qui créent un microclimat abaissant substantiellement la température de l'enveloppe du bâtiment et améliorant le comportement énergétique de celle-ci. Ils permettent d'amoindrir les grands écarts de température grâce à l'augmentation de la masse thermique du bâtiment. Elles peuvent être mises en place sur tous les types d'édifices et même sur les clôtures, les poteaux de téléphone et les lampadaires (El Atari et Abou 2015).

3.2.1.6. Toits verts

Les toits verts réduisent la quantité de chaleur transférée du toit vers l'intérieur du bâtiment grâce à l'évapotranspiration et à l'ombrage créé par les plants. En outre, ils permettent de rafraîchir l'air ambiant extérieur tout en contribuant à :

- Une augmentation de l'isolation thermique en hiver, mais aussi en été.
- La possibilité de faire de l'agriculture urbaine.
- Une amélioration de la qualité de l'air. Les plants des toitures végétales fixent les poussières et divers polluants atmosphériques.
- Une amélioration de la qualité de l'eau, car la végétation des toitures compense l'imperméabilisation et la perte du couvert végétal engendrées par l'emprise au sol des bâtiments (El Atari et Abou 2015).

3.2.2. Infrastructures urbaines durables

3.2.2.1. Bâtiments

Les bâtiments qui intègrent la protection contre la chaleur ont généralement des ouvertures pourvues de protections solaires, des matériaux réfléchissants et parfois d'ingénieux systèmes de rafraîchissement naturel (El Atari et Abou 2015).

a. Matériaux réfléchissants

L'industrie des matériaux pour toitures a développé récemment des produits performants de revêtement de toitures, tels que des membranes élastomères ou polyurées, des tuiles et des graviers pâles, dont les albédos sont tous plus élevés que ceux des

matériaux classiques. L'utilisation de ces matériaux est recommandée pour les toits plats uniquement, dans les régions sujettes aux ICU, car installés sur un toit en pente ils peuvent créer un éblouissement (El Atari et Abou 2015).

b. Architecture bioclimatique

Les principes de l'architecture bioclimatique permettent de protéger le bâtiment des surchauffes en période estivale, car ils tiennent compte des contraintes climatiques.

▪ Isolation et étanchéité des bâtiments

L'isolation du bâtiment est assurée lorsque l'enveloppe ne présente pas ou présente peu de ponts thermiques. Ils sont source d'inconfort thermique et de surconsommation d'énergie (chauffage et climatisation).

Une bonne étanchéité du bâtiment à l'air peut également minimiser l'entrée d'air chaud. Elle doit être combinée à un système de ventilation adéquat qui assurera une saine qualité de l'air intérieur et permettra de rafraîchir l'air ambiant la nuit si cela est possible (Giguère 2009).

▪ Inertie thermique

L'inertie thermique d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et à en différer la restitution après un certain temps: c'est le temps de déphasage.

Les matériaux à forte inertie permettent d'emmagasiner et de stocker la chaleur en excès, évitant que la chaleur se retrouve dans l'air ambiant et améliorant ainsi le confort thermique. La chaleur contenue dans les matériaux de forte inertie sera diffusée de six à dix heures après que ceux-ci auront commencé à emmagasiner de la chaleur, soit vers la fin de la journée, au moment où il sera possible de faire entrer de l'air plus frais dans la maison. Les matériaux ayant une bonne inertie thermique sont par exemple la pierre, le béton, la terre crue et la brique (Giguère 2009).

▪ Vitrages

Les vitrages sont les points faibles de l'isolation thermique d'un bâtiment en été comme en hiver. Il est cependant possible d'améliorer la performance de l'isolation thermique en faisant notamment les choix suivants :

- Des vitrages antiémissifs intelligents qui réduisent l'apport solaire à l'intérieur du bâtiment. Ils laissent passer la lumière en hiver quand le soleil est plus bas et limitent le rayonnement solaire en été lorsqu'il est plus haut.
- Des vitrages doubles ou triples avec lame d'air. L'air est un isolant qui permet de minimiser les échanges de chaleur par conduction et convection.

- Des films plastiques autocollants bloquant 98 % du rayonnement UV et 75 % de la chaleur solaire thermique (Giguère 2009).

▪ **Protections solaires**

Les protections solaires sont des dispositifs qui s'installent à l'extérieur, autour des fenêtres ou sur celles-ci afin de bloquer l'entrée du rayonnement solaire estival, tout en laissant entrer la lumière (contrairement aux protections intérieures).

Bien qu'elles soient beaucoup moins efficaces pour protéger l'intérieur du bâtiment de la surchauffe estivale, les protections intérieures telles que les toiles opaques ou les stores devront être claires et couvrir toute la surface de la fenêtre (Giguère 2009).

3.2.2.2. Infrastructures routières

a. Pavés à hauts albédos: Il est possible d'en augmenter l'albédo par les techniques suivantes :

▪ **Pavé inversé :** Une façon d'augmenter l'albédo de l'asphalte est d'inverser la façon de fabriquer le pavé, soit étendre une fine couche de bitume sur laquelle est disposé le granulat à haut albédo. Le granulat ainsi exposé augmente le taux de réflectivité du revêtement rayonnement solaire, ce qui diminue la température du pavé.

▪ **Asphalte et le béton coloré :** Un ajout de pigments réfléchissants dans l'asphalte et le béton permet d'en augmenter la réflectivité.

▪ **Couche superficielle de béton :** Il s'agit d'appliquer une couche de béton de 2,5 à 10 cm d'épaisseur sur une chaussée de bitume en bonne condition. Le béton ayant un albédo plus élevé (entre 0,30 et 0,40 lorsque neuf) permet de conserver une température de surface plus fraîche.

L'épaisseur du pavé conditionne sa capacité à emmagasiner de la chaleur. Les surfaces plus minces sont à privilégier pour les albédos bas, qui absorbent la chaleur (Giguère 2009).

b. Augmenter l'albédo de la peinture des véhicules: Tout comme pour les bâtiments ou les pavés, des peintures avec un haut taux de réflectivité solaire sont disponibles pour les véhicules et leur utilisation devrait être préconisée par les entreprises. Ces peintures sont composées de pigments spéciaux, qui permettent d'en augmenter l'albédo de 17,5 % en moyenne (Giguère 2009).

3.2.2.3. Aménagement urbain

Les urbanistes peuvent favoriser le confort thermique des citoyens en intégrant les préoccupations suivantes à la planification urbaine:

- L'aménagement du territoire visant la bonne circulation des vents en période estivale, très utile dans les villes ayant un fort taux d'humidité.

- L'aménagement, la bonne répartition et la sauvegarde des espaces verts. De grands espaces verts situés en amont de la ville dans l'axe des vents dominants peuvent également contribuer à un rafraîchissement de l'air.

- La mixité des usages, c'est-à-dire l'aménagement de trajets continus destinés au transport actif et permettant l'accès aux aires récréatives et sociales ainsi qu'aux différents services essentiels, tels que les commerces d'alimentation.

- La promotion du transport en commun, la limitation de l'utilisation des véhicules personnels (Giguère 2009).

a. Accès à des installations de rafraîchissement

- **Centres de rafraîchissement :** L'accès à des aires de rafraîchissement est parfois essentiel pour soulager la population des effets néfastes de la chaleur accablante (centres commerciaux, écoles, centres culturels ou tout autre édifice public climatisé pouvant accueillir la population). Des aires de repos, par exemple des abris ou des centres climatisés, doivent aussi être disponibles pour les travailleurs extérieurs.

- **Installations d'eau:** Les petites installations ou étendues d'eau (bassins, fontaines et jets d'eau) jouent le rôle de tampons thermiques car elles tempèrent les fluctuations de température, créant ainsi des microclimats.

- **Aires aquatiques:** L'accès et la proximité des aires aquatiques sont aussi essentiels afin que la population puisse se rafraîchir, tant en milieu naturel que dans les aires aménagées publiques. D'autres installations, comme les bassins et les brumisateurs, servent aussi au rafraîchissement et peuvent être aménagées dans les parcs et les centres récréatifs.

b. Protection solaire dans les zones publiques: Au même titre que les bâtiments ou les infrastructures, l'ombrage permet aux personnes de se protéger en partie du rayonnement solaire direct et des rayons UV responsables du cancer de la peau (Giguère 2009).

3.2.3. Gestion durable des eaux pluviales

En effet, grâce à l'évaporation, les sols humides ont des capacités de rafraîchissement semblables à celles de la végétation, et leurs températures de surface sont plus fraîches que celles des sols secs. Afin de favoriser l'humidification des sols en milieux urbains et d'assurer une disponibilité en eau pour les végétaux, plusieurs pratiques de gestion durable des eaux pluviales et de maîtrise de la pollution de l'eau existent (El Atari et Abou 2015).

3.2.3.1. Arbres et toits verts

L'infiltration de l'eau est grandement maximisée grâce au système racinaire des arbres. La capacité de rétention d'eau des arbres varie en fonction de la taille, de la texture de

l'écorce, de la saison et de l'intensité des épisodes de pluie. Les aménagements végétalisés peuvent aussi capter une grande quantité des eaux pluviales. Les toits verts ont des caractéristiques qui influencent leur capacité de rétention d'eau, dont la profondeur du substrat, la pente du toit, le type de plantes et l'intensité des précipitations (El Atari et Abou 2015).

3.2.3.2. Revêtements perméables

Les revêtements perméables permettent à l'eau de percoler à travers le pavé ou la végétation, qui atteint une couche de substrat favorisant une infiltration profonde. Les sols recouverts de gravier sont utilisés comme revêtements perméables depuis longtemps. Ils aident à une bonne infiltration de l'eau dans le sol lorsque ce dernier n'est pas trop compact, mais ils sont peu prisés en milieu urbain.

D'autres types de revêtements perméables existent, soit:

- Les dalles imperméables, disposées les unes contre les autres et permettant à l'eau de pluie de percoler dans les joints perméables.
- Les dalles ou revêtements de béton poreux permettant l'écoulement de l'eau par de petites cavités.
- Les structures permettant l'engazonnement: Leur forme alvéolée permet la végétalisation du sol et favorise l'infiltration de l'eau dans celui-ci (Giguère 2009).

3.2.3.3. Jardins pluviaux

Le jardin pluvial est « un lit de plantes ou de pierres, conçu expressément pour capter les eaux pluviales et permettre au sol de les absorber lentement par infiltration ». Les jardins pluviaux sont un moyen de réduire le ruissellement et d'augmenter le taux d'humidification des sols ainsi que la percolation de l'eau pour la régénération des nappes phréatiques. Les dimensions des jardins pluviaux dépendront du volume d'eau à recueillir, leur forme devra être longiligne et leur longueur, perpendiculaire à la dépression. L'aménagement sera constitué de pierres et de plantes résistantes aux conditions tant humides que sèches. Les quenouilles, la spirée, les fougères et les eupatoires seraient notamment des plantes adéquates pour ce type d'aménagement (Giguère 2009).

3.2.3.4. Bassins de rétention

Le bassin de rétention est un aménagement du même type que le jardin pluvial, mais de plus grande dimension. Il s'agit d'une dépression réalisée grâce à un dénivelé du terrain. Cette dépression recueille l'eau qui y ruisselle et la laisse s'infiltrer dans le sol. Il existe deux types de bassins de rétention: les bassins d'eau, qui conservent une eau stagnante en permanence, et les bassins secs. Ce type d'aménagement procure aussi d'autres avantages tels que la

création de paysages végétaux, voire d'espaces de jeux et de loisirs (bassins secs) en milieu urbain (Giguère 2009).

3.2.3.5. Tranchées de rétention

Les eaux de ruissellement peuvent aussi être recueillies dans des tranchées de rétention. Linéaires et peu profondes (1 m), ces tranchées sont recouvertes d'un revêtement perméable, de galets ou de gazon. Elles peuvent également servir de voies d'accès aux automobiles ou aux piétons (Giguère 2009).

3.2.3.6. Puits d'infiltration

Les puits d'infiltration recueillent les eaux de ruissellement et permettent leur infiltration dans le sol. Ils sont constitués d'un espace de décantation d'une bonne hauteur, fait de gravier et de sable, et d'exutoires qui rendent possible l'infiltration de l'eau dans le sol. Ils sont utilisés notamment pour recueillir les eaux de ruissellement des toits. Leur conception est simple et demande peu d'espace au sol (Giguère 2009).

3.2.3.7. Chaussées à structure réservoir

Les chaussées à structure réservoir sont constituées des pavés poreux favorisant l'infiltration de l'eau à la source. Elles laissent passer l'eau et l'air à même le revêtement, ne requièrent pas d'espace supplémentaire et s'intègrent bien au milieu urbain. Comme ils ont une densité plus faible et un albédo plus élevé que le bitume, les revêtements poreux emmagasinent moins de chaleur que le bitume (Giguère 2009).

3.2.3.8. Arrosage des pavés imperméables avec de l'eau recyclée

Grâce au processus d'évaporation, l'arrosage des surfaces pavées imperméables est un moyen efficace de réduire la température des surfaces asphaltées, perméables ou non (Giguère 2009).

3.2.4. Diminution de la chaleur anthropique

3.2.4.1. Contrôle de la production de chaleur dans le bâtiment

La production de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment contribue à sa surchauffe en période estivale, notamment lorsqu'elle s'ajoute au rayonnement solaire direct ou à la mauvaise isolation thermique du bâtiment (El Atari et Abou 2015).

a. Éclairage artificiel et lumière naturelle

L'éclairage participe aux apports internes de chaleur. Les entrées de lumière naturelle doivent cependant être munies de protection solaire afin de protéger les occupants du rayonnement solaire direct. Également, il convient, lors de la construction d'un nouveau bâtiment, d'optimiser les gains de lumière naturelle afin de réduire la dépendance à l'éclairage artificiel.

b. Appareils de bureautique

Tous les appareils électriques émettent de la chaleur même quand ils sont en mode veille. L'utilisation de matériel informatique ayant une bonne efficacité énergétique est donc fortement recommandée. De plus, afin de minimiser l'apport de chaleur, il importe d'éteindre et de débrancher les appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

c. Appareils électroménagers

Les apports de chaleur intérieure réchauffent rapidement l'air ambiant surtout si les bâtiments sont faits de matériaux à faible inertie (ne pouvant absorber beaucoup de chaleur). Par de chaudes journées, il est approprié de limiter l'utilisation des électroménagers tels que le lave-vaisselle, le lave-linge et le sèche-linge, de les mettre en route lorsqu'ils sont pleins et de les faire fonctionner en mode économique (Giguère 2009).

3.2.4.2. Réduction du parc automobile en milieu urbain

Les automobiles et véhicules contribuent à l'émission de chaleur en milieu urbain. La chaleur totale émise par les véhicules peut rester prisonnière des canyons urbains mal ventilés, réduisant par le fait même le confort thermique des citoyens. Une bonne planification du transport est essentielle afin de minimiser l'apport de chaleur dans les milieux urbains.

a. Densifier les centres urbains et limiter l'étalement urbain

La densification des centres urbains permet de réduire l'utilisation de la voiture et incidemment la production de chaleur et de pollution de l'air, car elle a pour effet de diminuer la longueur des déplacements en voiture, d'offrir plus de choix quant aux modes de transport et de réduire le besoin de posséder un.

b. Mixité d'usages

La mixité d'usages à proximité réduit la circulation automobile. Dans les zones résidentielles, les quartiers dont les commerces sont accessibles à pied ont un trafic routier moins élevé que les quartiers sans commerces, où les déplacements en voiture sont inévitables.

c. Restreindre l'accès des véhicules automobiles

Une des solutions envisageables afin de garantir plus de fraîcheur dans les milieux urbains est d'y limiter l'accès et la circulation des véhicules. Entre autres moyens pour ce faire:

- Le contrôle du flux de véhicules par des règlements de circulation lors de journées chaudes.

- L'augmentation des coûts de stationnement en ville; l'instauration de péages pour circuler dans des aires spécifiques de la ville et réduire progressivement les places de stationnement.
- L'aménagement de stationnements près des terminaux de transport en commun destinés à la population vivant en périphérie.
- La gratuité de l'accès aux transports collectifs en cas d'alerte de chaleur accablante.

Ces mesures peuvent être combinées à de meilleurs services de transports collectifs et actifs, dont les tramways, les autobus et les vélos (service de location).

d. Transport en commun

Les voitures consomment deux fois plus d'énergie par kilomètre qu'un train et quatre fois plus qu'un autobus. Les services de transport collectif répondant aux besoins des consommateurs (métro, autobus) et faciles d'usage, voire gratuits, permettront de réduire les effets néfastes du transport individuel. De plus, l'utilisation de véhicules moins énergivores et à faibles émissions polluantes peut améliorer la qualité de l'air et contribuer à la lutte aux ICU.

e. Transport actif

Le développement d'infrastructures facilitant le transport à vélo ou à pied est aussi à privilégier, car le transport actif non seulement concourt à réduire la chaleur anthropique liée aux transports motorisés, mais il est aussi bénéfique pour la santé humaine en encourageant l'activité physique. De plus, les aménagements, tels que les pistes cyclables et les rues piétonnières, sont des endroits propices à l'introduction de végétation et de mesures de gestion durable des eaux pluviales qui contribuent à la lutte aux ICU (Giguère 2009).

3.2.4.3. Bâtiments passifs : contrôle de la demande de climatisation

Il existe des solutions de remplacement moins énergivores et plus durables pour rafraîchir l'air intérieur des bâtiments. En effet, il est possible de recourir à différentes techniques de climatisation passive afin de rafraîchir un bâtiment qui n'a pas été conçu pour se protéger des températures très chaudes.

a. Ventilation

La ventilation peut être assurée par des moyens naturels (ventilation naturelle) ou mécaniques (ventilation de pulsion ou par extraction). Pour qu'un occupant se sente confortable lorsque les températures ne sont pas élevées, la vitesse de l'air devrait être d'environ 0,2 m/s. Si les températures deviennent plus chaudes et plus humides, elle pourrait augmenter afin de soulager l'occupant. En effet, la vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection et permet l'évaporation à la surface de la peau.

▪ **Ventilation naturelle**

La ventilation naturelle est de deux types, soit la ventilation transversale et la ventilation à tirage naturel ou surventilation nocturne. La ventilation transversale s'effectue en ouvrant les fenêtres ou les portes situées sur des murs opposés, ce qui permet aux courants d'air de circuler dans les pièces. Plus la différence de température entre l'air extérieur et intérieur est grande, plus la capacité de climatisation est optimisée.

La technique de ventilation à tirage naturel ou surventilation nocturne requiert de laisser l'air frais entrer par des ouvertures préférablement situées dans le bas de la façade nord du bâtiment (air plus frais) et de laisser sortir l'air chaud par une ouverture située dans le haut du bâtiment. Cette surventilation nocturne offre des gains de fraîcheur uniquement dans les villes où l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur la nuit. Par cette technique, la température de l'air intérieur peut ainsi être réduite de quelques degrés.

▪ **Ventilation mécanique contrôlée (VMC)**

La ventilation mécanique contrôlée (VMC) requiert un système qui utilise un ou des ventilateurs pour extraire régulièrement l'air vicié des pièces. Ce système peut rafraîchir l'air intérieur si l'air extérieur est plus frais que celui-ci.

▪ **Brasseurs d'air et ventilateurs**

Les ventilateurs sur pied et les brasseurs d'air plafonniers peuvent être employés pour accélérer la vitesse de l'air. En climat humide, les brasseurs d'air s'avèreraient efficaces pour procurer un rafraîchissement grâce à la convection.

b. Rafraîchissement solaire

Il est possible d'utiliser des systèmes de chauffage-rafraîchissement utilisant les énergies renouvelables. Les machines à absorption y sont en effet les plus répandues. En voici le principe: « La compression thermique est obtenue en utilisant un couple réfrigérant/liquide absorbant, et une source de chaleur (issue de l'énergie solaire) qui remplace la consommation électrique du compresseur mécanique. Pour de l'eau glacée au-dessus de 0 °C, comme c'est le cas en climatisation, c'est le couple eau/bromure de lithium (H₂O/LiBr) qui est utilisé, l'eau étant le réfrigérant. La plupart des systèmes utilisent une pompe à solution, très faiblement consommatrice d'électricité».

c. Puits provençaux (ou puits canadiens)

Le puits provençal capte de manière passive l'énergie géothermique du sol grâce à une ventilation mécanique contrôlée. Le principe repose sur l'installation d'un tuyau dans le sol à 1 ou 2 m de profondeur. Pour une efficacité optimale, la longueur du tuyau doit être d'au moins 25 m et son diamètre, d'environ 180 mm. Un capteur permet à l'air d'entrer dans le

tuyau, d'être refroidi grâce à la température plus basse du sol et d'être ventilé dans le bâtiment. Ce système peut aussi être utilisé pour le chauffage hivernal. S'il est mis en place au moment de la construction du bâtiment, le puits provençal permet un rafraîchissement passif à un coût relativement faible.

d. Système de rafraîchissement par rayonnement

Le système de rafraîchissement par rayonnement est composé de conduites d'eau fraîche (19 °C) servant à répartir de la fraîcheur dans les murs d'un bâtiment. La circulation de l'eau dans ces conduites se fait au moyen d'une pompe. L'effet de climatisation vient du rayonnement de la chaleur du corps humain vers les parois des murs, du plancher ou du toit qui sont rafraîchis par le système de conduites d'eau. Pour maximiser la capacité de rafraîchissement, un système de ventilation sera utilisé conjointement avec le système de rafraîchissement. Il servira à contrôler le niveau d'humidité et de qualité de l'air intérieur. Ce système est également possible pour les planchers (Giguère 2009).

Conclusion

Il n'existe pas de solutions miracles ni de réussites faciles. Néanmoins, des bénéfices pour la santé et la qualité de vie en milieu urbain émanent de ce genre d'initiative. Ces avantages méritent d'être optimisés par mettre en place des mesures adaptées aux différentes réalités de chacune des villes concernées et de leurs habitants.

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter un résumé des études qui ont été menées jusque-là au sujet d'ICU et l'urbanisme durable. Ces études ont démontré la possibilité d'établir un lien direct entre la durabilité des villes et toutes les conséquences qu'elles induisent sur l'environnement et une température idéale à l'intérieur de leur périmètre urbain.

4.1. Résumé de quelques études sur l'urbanisation et l'îlot de chaleur urbain

Aujourd'hui plusieurs agglomérations urbaines sont en cours d'étudier le phénomène d'ICU à l'échelle des sites, quartiers et territoires afin de valider les stratégies d'adaptation proposées.

4.1.1. Etude de Ludwig

Ludwig a observé la distribution des températures au-dessus des villes de Dallas et Fort Worth, Texas et a trouvé une remarquable uniformité en dépit d'un ICU journalier suspecté. Il a expliqué au moyen des diagrammes d'insolation des différents groupements de constructions contrairement à la forte capacité thermique habituelle des structures urbaines.

Ludwig a conclu que les groupements de bâtiments de taille moyenne et une rue de largeur moyenne, sont susceptibles de montrer une augmentation de la température ambiante de l'air due à la bonne absorption des radiations solaires dans les rues et les niveaux de façades de bâtiments comparés aux ensembles de grands immeubles, ou la plupart des zones suburbaines et rurales, où la radiation est aussi bien déviée par l'excès d'ombrage vers l'environnement ouvert due à la réflexion (Achour-Bouakkaz 2006).

4.1.2. Etude de Siddiqi de l'université de Sheffield à U.K (1978)

Siddiqi a démontré, à l'aide de modèles numériques détaillés, comment la conception urbaine pouvait affecter l'environnement thermique des façades d'immeubles et par conséquent, déterminer le confort physique à l'intérieur et autour des habitations. Il a, par ailleurs, étudié l'effet de la densité d'une aire plane sur la radiation solaire reçue par des bâtiments de différentes formes. Il a trouvé que la radiation solaire reçue par les bâtiments était en fonction de leur forme et leur orientation, et qu'elle variait avec la latitude du site. Cependant, le type de groupements (d'assemblage) a une influence importante sur toute radiation résultante. Il a ainsi pu démontrer, que des gains substantiels en consommation d'énergie pourraient être réalisés si des décisions intelligentes et appropriées en matière, d'arrangements en plan, densité de l'aire en plan, l'orientation et les matériaux des différentes surfaces sont prises à des étapes initiales de la conception (Achour-Bouakkaz 2006).

4.1.3. Etude du groupe d'îlot de chaleur de Hashem Akbari (avril 2000)

Une autre étude menée récemment par le groupe d'îlot de chaleur de Hashem Akbari de l'université de Californie, s'intéressant à l'effet des températures des pavages sur la température des grandes villes, a révélé que le réchauffement du sol par le rayonnement solaire était à l'origine du phénomène ICU. Le raisonnement dans cette étude était que le revêtement de la plupart, voir la majorité des villes est fait avec de l'asphalte de béton de couleur sombre. Ce dernier absorbe la plupart des rayons solaires qu'il reçoit, car il représente les surfaces les plus sombres dans la ville. Par conséquent, l'air en contact avec le sol est réchauffé par le revêtement de ce dernier, ce qui contribue directement à la production de pollution de l'air. Selon, Akbari les villes ne se réchaufferaient plus autant si les revêtements au sol absorbent moins de rayonnement solaire (Achour-Bouakkaz 2006).

4.1.4. Etude de l'école des sciences géographiques et environnementales de l'université de Monash (2005)

Les densités urbaines dans la ville de Melbourne en Australie sont conçues de façon à s'accroître sous de nouvelles stratégies d'évolution du son plan. A cet effet, la méthode utilisée était l'investigation de l'impact de la croissance de la densité urbaine sur la balance énergétique des surfaces et leur rapport au climat local, à travers le choix de quatre sites avec des densités croissantes de constructions et des variations dans les caractéristiques de surfaces (3 sites urbains et 1 site rural).

La répartition d'énergie disponible était similaire pour les trois sites urbains, ce qui été illustré par des ratios énergétiques similaires. La plus grande différence observée entre les sites se situe au niveau de la capacité d'emmagasinement de chaleur urbaine, qui était influencé par la complexité de la canopée urbaine, l'albédo ainsi que par la capacité d'échanges thermiques. Les ratios énergétiques étaient supérieurs à 1 tout au long de l'année pour l'ensemble des sites urbains, tandis que, pour le site rural, ces mêmes ratios étaient inférieurs à 1, en raison du niveau élevé d'évapotranspiration.

Le résultat mettait en évidence, la différence considérable des températures journalières entre le milieu urbain et le milieu rural, cependant, la différence des températures journalières à la limite de la canopée urbaine, entre les différents sites urbains était minime, en raison de la similitude dans la répartition énergétique. Toutefois, des températures nocturnes agréables ont été observées avec la croissance de la densité, comme le résultat des variations dans le dégagement de la chaleur stockée, qui est due en partie à la morphologie de canyon urbain. C'est ainsi, qu'ils ont conclu que la connaissance du rapport entre la croissance de la densité urbaine en ville, la balance énergétique des différentes surfaces et leur impact sur le climat

local, était une donnée fondamentale dans la conception urbaine, qui est un moyen pour la manipulation des surfaces au sol et leur caractéristiques, dans le but d'améliorer le climat local de nos villes (Achour-Bouakkaz 2006).

4.2. Exemples sur les applications de l'urbanisme durable: Cas des écoquartiers

4.2.1. L'écoquartier Vauban Freiburg

4.2.1.1. Présentation du quartier

Le quartier Vauban s'est développé au sud de Freiburg, à 3 km du centre-ville, sur les 38 ha du site d'anciennes casernes de l'armée française. Le quartier a été détruit à 90% en 1945, puis la planification a démarré en 1993 et la phase de réalisation a débuté en 1997 (Hammana 2016).

4.2.1.2. Plan de masse

Une mixité des emplois, des habitations et des couches sociales, avec création des 600 emplois regroupés pour la plupart sur les 6 ha destinées aux activités industrielles et artisanales (Rabie 2009).



Figure 4.1. : Vue aérienne de l'écoquartier Vauban Freiburg (Source : http://erg.ucd.ie/pep/4_2_1.htm)

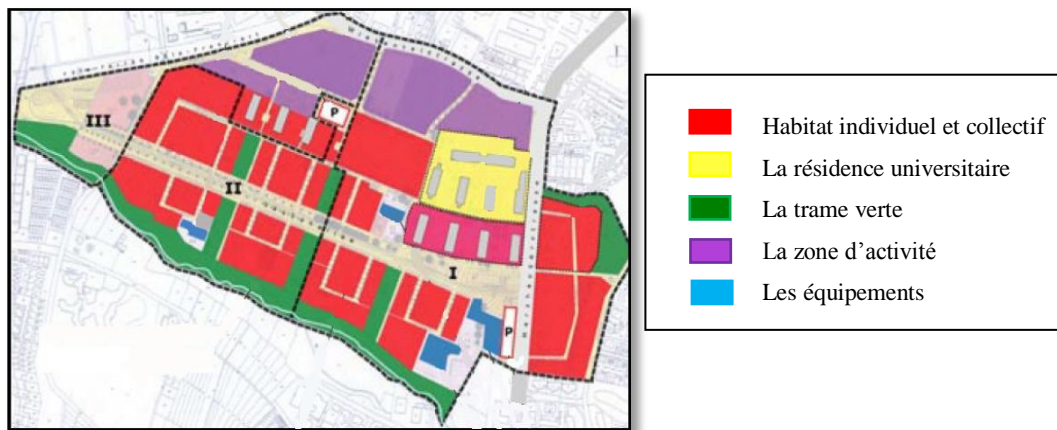


Figure 4.2. : Plan de masse du quartier (Source: <https://fr.slideshare.net/kherroubisofiane>)

4.2.1.3. Structure urbaine des îlots

1. La voie en forme de U est un espace public intimiste.
2. Une continuité de façade urbaine de chaque immeuble, avec des différences de style de matériaux et des hauteurs créent un environnement visuellement complexe.
3. Les jardins au cœur d'îlots sont soit privés, soit collectifs.

4. L'emprise de l'Allée Vauban est occupée par la voie principale avec stationnement
5. Les jardins à l'entour de chaque bâti constituent un espace semi-privé qui participe à l'identité et à l'embellissement du quartier.
6. Des jardins publics créent un réseau d'espaces de jeu et de détente.

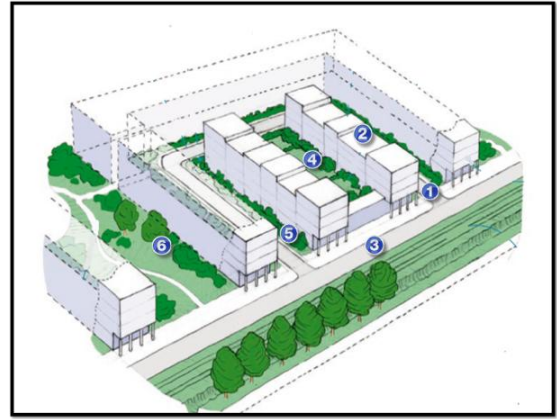


Figure 4.3. : La structure urbaine d'un îlot
(Source : Rabie 2009)

4.2.1.4. Points forts du quartier

a. Transport et mobilité

- Le quartier favorise une hiérarchisation des voies de circulation et leur adaptation aux exigences et au confort des différents usagers
- Les véhicules privés sont garés dans des stationnements municipaux étagés situés à la périphérie de la zone résidentielle.
- Favoriser le concept de «distances courtes» avec services à proximité
- La vitesse est limitée à 30 km/h sur la voie principale. Dans les rues secondaires, cette limite tombe à 5km/h (ADEME 2008).
- Deux lignes d'autobus et un tramway relient Vauban au centre-ville de Freiburg, situé à 3 km de distance, ainsi qu'à la gare principale et à une grande aire municipale de loisirs.

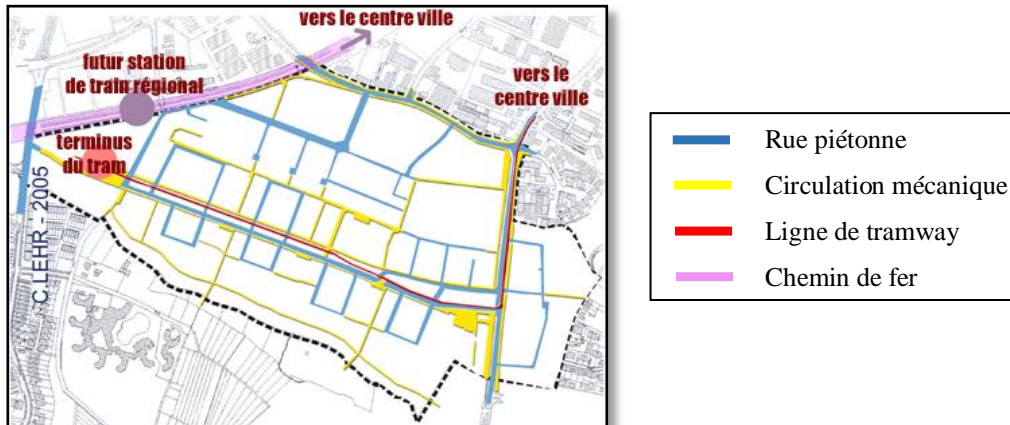


Figure 4.4. : Plan des circulations (Source : <http://archicaro.pagesperso-orange.fr>)

b. Social et services

Le travail social fait partie du processus de développement, aide à stabiliser la communauté et à structurer les relations de voisinage, qui est marqué par :

- Mixité sociale facilitée : Espaces d'échanges, jardins ouverts, espaces de jeux.
- Programmation et intégration des équipements publics, des services et des commerces.
- Participation citoyenne à la gestion collective des logements.

- Aménagements urbains adaptés aux personnes à mobilité réduite.

c. Energie

De nombreux labels sont présents et adaptables tant pour les habitations que pour les lieux de travail, sont conçus à partir de critères d'écoconstruction et haute conservation énergétique avec d'orientation sud (Hammana 2016).

Les mesures d'économie d'énergie et de réduction de la production de CO2 sont fortement présentes dans les constructions du quartier :

- Les toitures des immeubles accueillent 2500 m² de panneaux PV, parfaitement intégrés dans l'architecture des bâtiments.
- 10 unités héliotropes produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.
- Les maisons ont une ossature en bois qui consomme beaucoup moins d'énergie grise pour la construction.
- Chauffage urbain commun à distance de cogénération fonctionnant aux granules de bois (80%) et au gaz (20%).

d. Eau et espaces verts

- Récupération des eaux de pluie dans des citernes, l'eau de pluie pour le lavage, chasses d'eau ou l'arrosage des jardins.
- Des fossés de rétention sont aménagés partout à titre de collecteurs d'eau de pluie.
- Espaces verts intégrés dans les constructions urbaines: squares, jardins semi naturels, privatifs ou collectifs.
- La végétation s'invite naturellement dans l'architecture, au niveau des façades et même au niveau des toitures.



Figure 4.5. : Récupération de l'eau pluviale sur les toitures (Source : ADEME 2008)



Figure 4.6. : Les espaces verts du quartier Vauban (Source : <https://makinglewes.org/2014/01/26/vauban-freiburg-germany/>)

e. Déchets

- Les poubelles de tri sélectif au niveau de chaque quartier.
- Recyclage, réutilisation des produits et minimisation du gaspillage.

f. Architecture

- Une hauteur maximale de 4 étages.
- La maison s'ouvre sur la rue: pas de place de stationnement ni de sortie de garage.
- Des maisons avec des différences styles de couleurs et matériaux de fabrication locale, possédant des certifications environnementales.



Figure 4.7. : Les habitats du quartier Vauban (Source : ADEME 2008)

4.2.2. L'Écoquartier Hammarby

4.2.2.1. Présentation du quartier

Le quartier est situé sur la rive sud du Hammarby à la Suède. Ancien site portuaire et industriel partiellement en friche, d'une superficie d'environ 200 hectares.

4.2.2.2. Planification

La planification d'Hammarby a débuté en 1991. Les sols ont été décontaminés, les bâtiments industriels rasés ou reconvertis à l'image de l'usine Diesel qui est devenu centre sportif et culturel. Il a également été décidé de ne construire que sur les terrains autrefois bâtis et de limiter la hauteur des bâtiments à 5 étages avec l'adaptation des infrastructures et du design urbain aux personnes handicapées.



Figure 4.8. : La carte de situation du quartier

4.2.2.3. Plan de masse

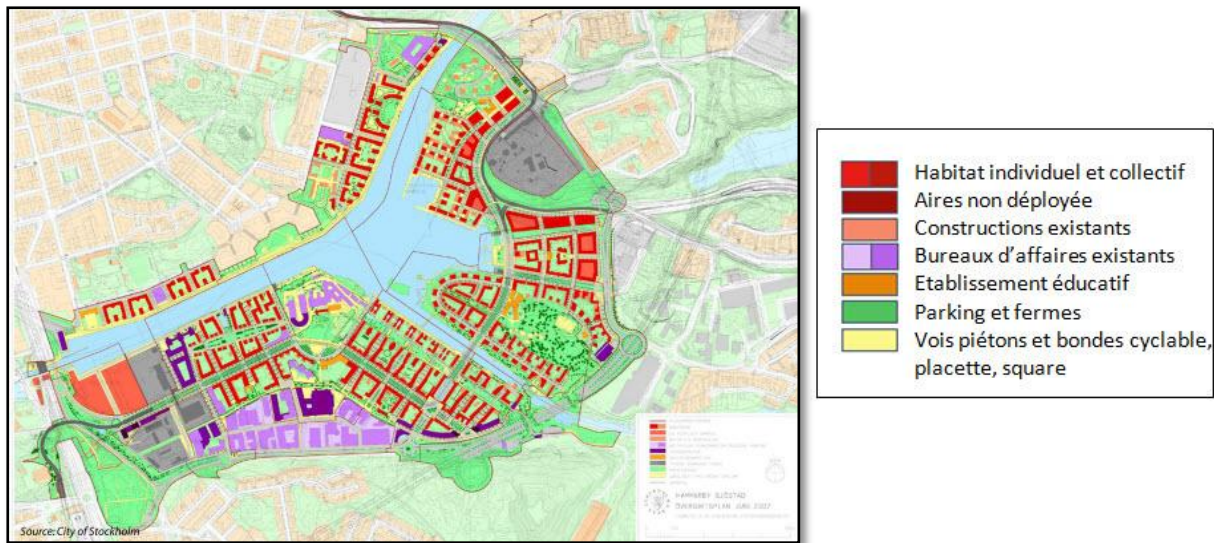


Figure 4.9. : Plan de masse de Hammarby Sjostad (Source : Gaffney et Al. 2007)

4.2.2.4. Objectif

L'objectif global est de réduire l'impact sur l'environnement causé par les émissions de Hammarby à un niveau inférieur de 50% à celui des années 90 dans les zones d'habitation comparables.

4.2.2.5. Points forts du quartier

a. Sol

- Réutilisation et transformation d'anciens terrains vagues.
- Intégration du programme de protection de l'environnement et du modèle d'économie circulaire.

b. Transport

- Un système de transports publics performant : le tramway, des bus à l'éthanol ou hybrides, de l'auto partage avec la mise à disposition de véhicules pour les résidents, des chemins piétonniers et des pistes cyclables...
- Limitation des places individuelles de parking.

c. Energie

- L'utilisation des énergies solaires dont la majorité des projets architecturaux jouent avec la géothermie et les nouvelles technologies de recyclage.
- Récupération de l'énergie pour les chaufferies centralisées par : l'épuration des eaux (boues traitées et transformées en biogaz) et l'incinération des déchets.



Figure 4.10. : Toiture avec des panneaux photovoltaïques (Source : <http://www.ecolodujour.com>)



Figure 4.11. : Façade avec des panneaux solaire (Source : Gaffney et Al. 2007)

d. Social

- Nombreux équipements publics et établissements commerciaux.
- Étroite collaboration avec les citoyens: centre d'information sur l'environnement Glashusett.
- Des écoles et des jardins d'enfants.

e. Eaux et épuration

- Technologies nouvelles pour l'économie et la consommation de l'eau et le traitement des eaux usées.

f. Déchets

- Maximisation du recyclage des matériaux et des énergies.
- Tri exhaustif par un système original d'enlèvement des déchets: dispositif souterrain sous vide effectuant la séparation des déchets organiques, recyclables et autres.



Figure 4.12. : Systèmes de gestion des eaux pluviales (Source: <https://www.thenatureofcities.com/201>)



Figure 4.13. : Infrastructure en « boucle fermée » (Source: Joachim 2014)

Conclusion

L'étude de l'état de l'art est une étape importante dans le processus d'élaboration du projet afin d'atteindre une certaine qualité d'information et de trouver les meilleures étapes de simulation. Malgré les diverses études et pratiques trouvées dans l'état de l'art, beaucoup d'insuffisances restent non abordées. Surtout dans le sujet de l'urbanisme durable et l'îlot de chaleur dans les zones côtières de l'Algérie, comme celle du Taher.

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de notre cas d'étude et l'explication de la méthode suivie pour le recueil des résultats afin de répondre à la problématique posée et les hypothèses suggérées.

5.1. Présentation du cas d'étude

Notre aire d'étude pour réaliser notre travail se situe au niveau de la commune de Taher, et plus précisément au quartier Boucherka.

5.1.1. Situation géographique

Le périmètre d'étude se situe dans la partie Nord de l'agglomération chef-lieu de Taher à côté de l'ancien centre-ville et occupe une superficie de 29 ha. Il est limité au Nord et Ouest par les habitats individuels, à l'Est par la cité Hayouna et au Sud par le centre colonial.

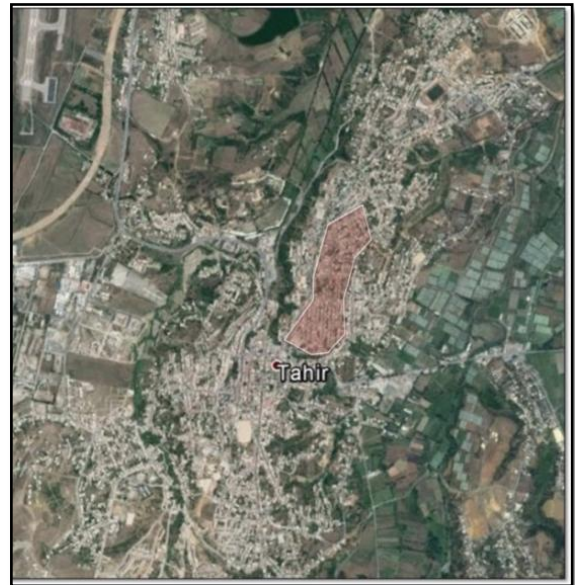


Figure 5.1.: Vue aérienne sur le site d'étude (source: Google Earth)

5.1.2. Accessibilité

Le site est accessible depuis le centre-ville, la cité Taghmert, la cité Hayouna et la partie Nord de Boucherka.



Figure 5.2.: Vue aérienne sur l'accessibilité au site

5.1.3. Microclimat



Figure 5.3.: Photo aérienne sur la ville de Taher montrant l'ensemble montagneux entourant le site

- Le territoire de Taher et par conséquent le périmètre d'étude est soumis à des faibles vents à cause des obstacles naturels (Le site est entouré par un ensemble montagneux).
- Les valeurs d'humidité sont très élevées toute l'année car la ville se situe dans une zone étouffée.

5.1.4. Population

- Le nombre total de la population dans le site est de 7234 habitants.
- Les catégories d'âges sont bien équilibrées. L'extrême jeunesse constitue la plus grande proportion (30%).

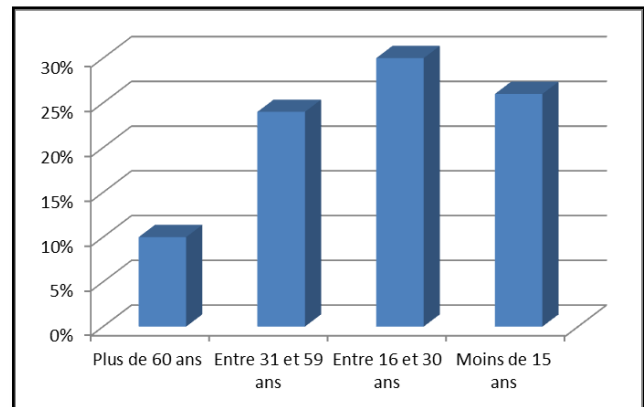


Figure 5.4.: Graphe de la population du quartier selon les tranches d'âges

5.1.5. Analyse urbaine

5.1.5.1. Système viaire: le quartier est desservi par un réseau viaire hiérarchisé:

- a. Les voies primaires:** Présentées par un seul axe principal et important qui est la rue Dekhli Mokhtar délimitant le site dans la partie Ouest et constituant un axe de développement économique de l'agglomération de Boucherka.
- b. Les voies secondaires:** L'ensemble des voies secondaires traversant le quartier a des caractéristiques physiques qui sont moins importantes que celles des voies classées comme primaires.

c. **Les voies tertiaires:** Formées principalement par des voies de desserte, généralement perpendiculaires aux voies secondaires. Ces routes tertiaires prennent naissance des différentes voies secondaires.

➤ La présence d'une seule voie principale et la dominance de voies tertiaires causent le problème d'encombrement.

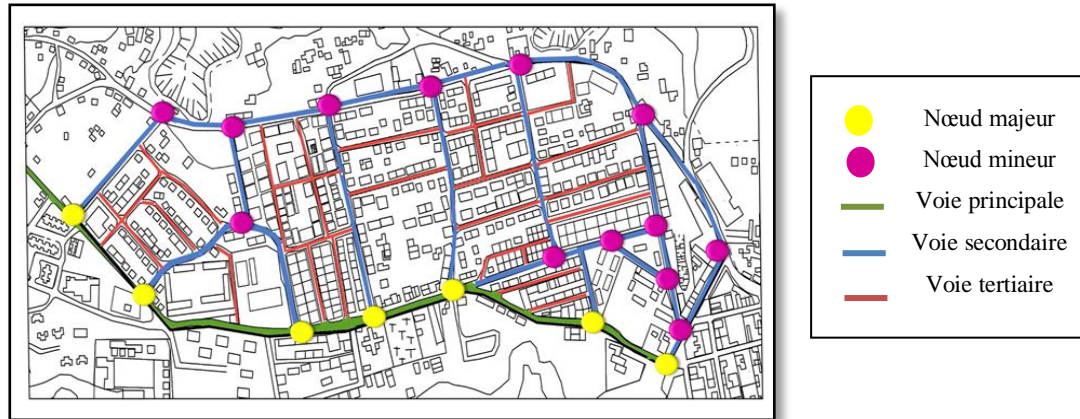


Figure 5.5. : Carte des différentes composantes du système viaire

5.1.5.2. Points de repère: Les éléments de repères présents dans le quartier sont:

- La caserne militaire: qui marque l'entrée du quartier en venant du centre colonial de la ville de Taher.
- Le centre psychopédagogique des handicapés mentaux.
- La mosquée Ali Ben Abi Taleb: qui représente également un point d'appel pour le site et constitue un lieu de culte et de regroupement social.

5.1.5.3. Espace public : Le périmètre d'étude souffre d'un manque énorme des espaces publics voire:

- L'existence d'une seule placette en cours d'exécution à l'entrée Sud.
- L'absence des aires réservées à l'activité de stationnement (stationnement aléatoire).

5.1.5.4. Paysage urbain et espace vert

Le quartier ne possède pas une propre image cohérente car le fait d'urbanisation non-planifiée ne considère pas l'image globale du quartier.

Les espaces verts ayant des surfaces très réduites sont abandonnés et nécessitent une mise en valeur. Avec la forte dominance du bâti, ces espaces modestes sont annexés à des habitations ou des équipements avec l'existence d'un seul espace vert public en cours de réalisation.



Figure 5.6. : Espace vert



Figure 5.7. : La placette en cours de réalisation

5.1.5.5. Analyse typo-morphologique

a. Cadre bâti et non-bâti

- Le tissu urbain est dense. Un écart remarquable entre le bâti et le non-bâti.
- Les espaces vides sont des friches urbaines ou des terrains pas encore exploités.

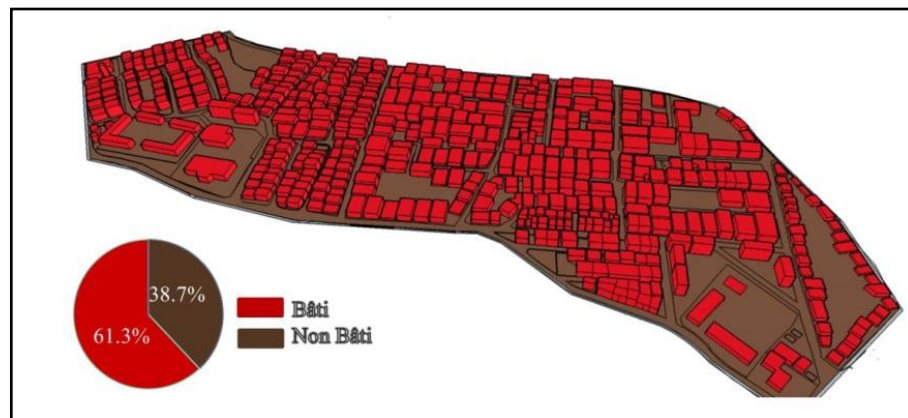


Figure 5.8. : Représentation en 3D du cadre bâti et non-bâti

- #### b. Densités et formes urbaines:
- Le périmètre de l'étude est dense avec une adoption très claire de la forme linéaire du bâti.

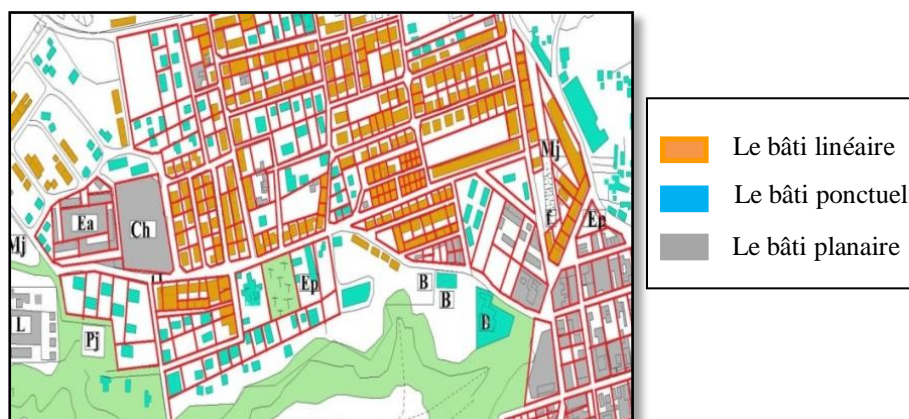


Figure 5.9. : Carte des formes urbaines

c. **Equipements:** Le quartier a une fonction résidentielle accentuée par la dominance de l'habitat individuel (cité-dortoir) et un manque considérable des équipements et lieux d'animation. Les équipements présents dans le site d'étude sont:

- **L'équipement sanitaire:** Le centre psychopédagogique des handicapés mentaux.
- **L'équipement de culte:** La mosquée Ali Ben A bi Taleb.
- **L'équipement de service:** La caserne militaire.

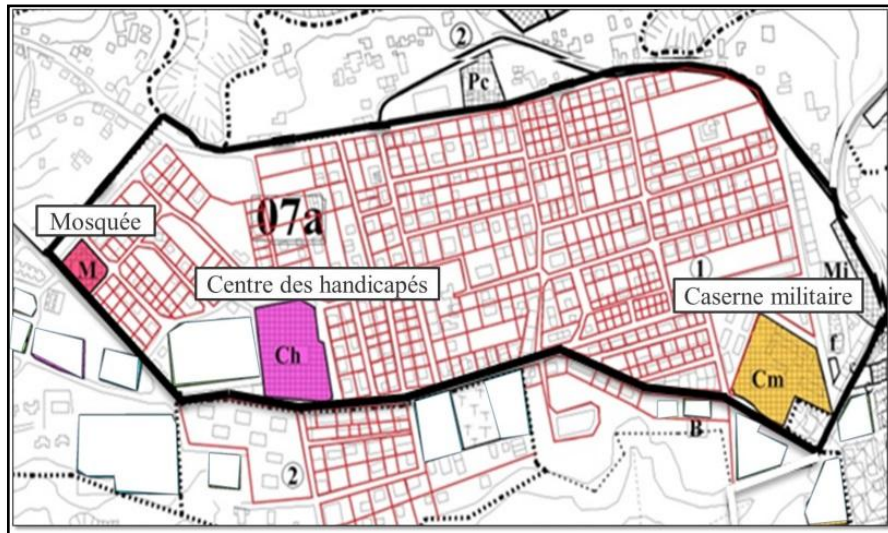


Figure 5.10. : Carte des équipements

d. **Habitats**

- L'habitat individuel de formation récente représente la composante urbaine essentielle du quartier.
- La majorité des habitations sont en moyen état.

e. **Activités**

- L'économie du quartier se repose sur des activités commerciales modestes (artisanat, alimentation générale...) liées aux besoins quotidiens des habitants et situées au niveau des rez-de-chaussée des habitations.
- La rue principale Dekhli Mokhtar constitue un axe de développement économique pour le quartier du Boucherka globalement.



Figure 5.11. : Les activités commerciales dans le quartier

f. **Transport**

- Accessibilité mécanique plus ou moins faible.
- Absence de modes de déplacement doux (pistes cyclables, chemins piétonniers...).



Figure 5.12. : Carte du flux de circulation mécanique

5.1.5.6. Matériaux de construction

- Usage diversifié des matériaux et des revêtements (pierre et faïence) généralement de couleurs claires et suivant la typologie d’habitat (colonial, arabe et récent).

Tableau 5.1. : Classification des matériaux de construction utilisés

Typologie d’habitat	Arabe	Colonial	Récent
Matériaux de construction	Bois, argile, verre, brique, tuile, taillée, pierre	Bois, fer, verre, brique, tuile.	Brique, béton, bois, fer, verre, pierre taillée, plâtre, tuile, faïence.

5.2. Simulation numérique à l’aide du Logiciel ENVI-met (Environmental Meteorology):

La modélisation est la représentation d’un système par un autre, plus facile à appréhender. La simulation numérique permet de reproduire sur un ordinateur un phénomène physique complexe dont on souhaite comprendre, analyser et simuler, et consiste à fournir une solution approchée du comportement réel de ce phénomène physique.

Notre analyse du cas d’étude a été développée aussi par une simulation numérique par l’utilisation de logiciel ENVI-met (version 4) qui nous a aidé à développer des analyses sur l’effet de la végétation et des Albédos des surfaces sur l’îlot de chaleur et les conditions thermiques des espaces urbains.

- **Présentation du logiciel ENVI-met**

ENVI-met a été développé au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l’université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse. Ce modèle simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l’atmosphère. Il permet ainsi d’analyser l’impact sur le microclimat de modifications de l’environnement urbain à petite échelle (Colombert 2008).

Les domaines d'application typiques d'ENVI-met sont la climatologie urbaine, l'architecture, la conception des bâtiments ou d'environnement urbain, etc.

ENVI-met est un modèle 3D qui s'appuie sur une grille géométrique. La résolution horizontale est entre 0,5m et 5m pour une maille. Au total, la grille entière (le maillage) peut avoir une dimension de 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents. Cela permet de couvrir une zone de 100mx100m jusqu'à 1kmx1km. ENVI-met n'est donc pas conçu pour modéliser le climat d'une ville entière mais seulement d'un quartier (Colombert 2008).

Le logiciel utilise à la fois le calcul des caractéristiques de dynamique des fluides, tels que le flux d'air et les turbulences, ainsi que les processus thermodynamiques ayant lieu à la surface du sol, au niveau des façades, les toits et la végétation. ENVI-Met prend en compte tous les types de rayonnement solaire (direct, réfléchi et diffusé) et calcule la température moyenne radiante. Le calcul des flux radiatifs inclue l'ombrage des plantes, l'absorption et les écrans contre le rayonnement ainsi que l'irradiation à partir des couches d'autres plantes.

Le logiciel utilise les valeurs d'entrée des bâtiments, la végétation, les conditions climatiques, les matériaux, et simule alors les modifications du microclimat, à partir de la forme du bâtiment proposé, des ombrages additionnels, des orientations alternatives, etc. Le modèle peut aussi aider à résoudre certains conflits indissociables à la volonté de renforcer le confort thermique à l'extérieur, l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, et l'utilisation de ressources nouvelles telles que l'eau (Ballout 2010).

La simulation, qui peut être effectuée sur un ordinateur de bureau, peut prendre entre quelques heures et quelques jours selon la modélisation effectuée. Un outil de visualisation (LEONARDO) permet ensuite de visualiser les résultats de la modélisation, en 2D comme en 3D (Colombert 2008).

5.3. Echantillon choisi

Nous avons retenu un îlot urbain de la partie sud-est du périmètre d'étude constitué d'un ensemble d'habitations individuelles présentant des caractéristiques identiques.

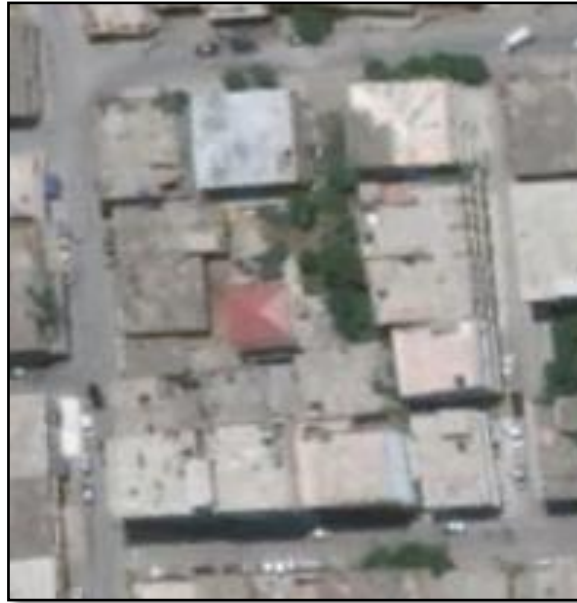


Figure 5.13. : Vue aérienne sur l'îlot choisi

5.4. Critères du choix

Il y a plusieurs critères qui nous ont poussés à choisir précisément cet échantillon, ces critères sont les suivants:

- La situation: Etant situé dans un tissu urbain dense, l'échantillon choisi est d'une grande importance vu qu'il est représentatif du point de vue analyse microclimatique.
- Un îlot dense, ayant une surface totalement minérale.
- Absence de la végétation: L'absence totale de la végétation dans notre axe facilite la lecture des résultats, en évaluant l'influence de l'albédo sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur sans prendre en considération l'impact de ce paramètre (végétation) qui est très important.
- L'albédo: La valeur d'albédo dans notre site diffère d'un matériau à un autre (On constate une variété des matériaux de construction : La brique, la, le béton, le sol, le granito, l'asphalte).

5.5. Déroulement de la simulation

La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel ENVI-met. Le cas d'étude a été soigneusement dessiné suivant une échelle convenable. Les dimensions et les hauteurs des constructions ainsi que la végétation ont été reportées afin de pouvoir reproduire la réalité du terrain (Tableau 5.2.), présente les principaux paramètres introduits pendant la simulation, qui servent avantagement à pouvoir aboutir à d'autres paramètres visés qui nous seront utiles, afin de pouvoir expliquer les phénomènes étudiés dans notre cas d'étude, et qui seront obtenus plus tard par le programme Leonardo. Ce sont les conditions générales dans lesquelles la simulation a été élaborée.

Tableau 5.2. : Paramètres utilisés pour le lancement de la simulation

Situation	<ul style="list-style-type: none"> - Taher, Jijel, Algérie. - Longitude : 5.78 °E - Latitude : 36.83 °N
Journée de simulation	Journée chaude typique d'été, le 11 juillet 2017
Durée de simulation	De 10:00h à 22 :00h (12heures)
Vitesse du vent à une altitude de 10 m	2 m/s
Direction du vent	90° (par rapport aux données introduites dans le logiciel).
Température initiale de l'atmosphère	30.33 °C
Rugosité	0.01
Humidité relative à une altitude de 2m	50%

Les quatre scenarios sont décrits là-dessous avec leurs fichiers d'entrée (.IN) :

• **Scenario N°1:**

Ce scénario correspond à l'état actuel de l'îlot. Dans ce scenario, on remarque que la végétation est presque inexistante, de même aucune surface d'eau ainsi que la présence des matériaux aux albédos différents: les murs en brique (0.40), les dalles de toitures (0.3), l'asphalte de la chaussée (0.2), le pavé du trottoir (0.8), les passages (0.3), le sol (0.00) (Figure 5.13.).

Cela revient à dire que la simulation a pour but de vérifier les paramètres relatifs au confort thermique de la place à l'état brute sans les éléments susceptibles d'améliorer le confort thermique.

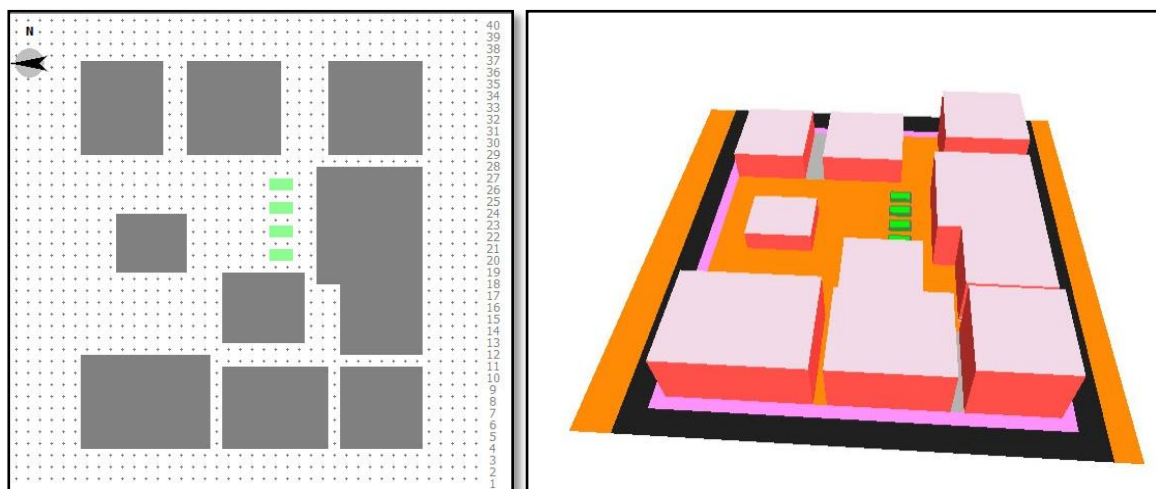


Figure 5.14. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°1. à gauche vue en 2D, à droite vue en 3D

• **Scenario N°2:**

Ce scénario est établi avec des caractéristiques de matériaux différentes que celles de l'état de fait: les murs en brique (0.8), les dalles de toitures (0.3), l'asphalte de la chaussée (0.5), le pavé du trottoir (0.8), les passages (0.5), le sol (0.2) (Figure 5.15.).

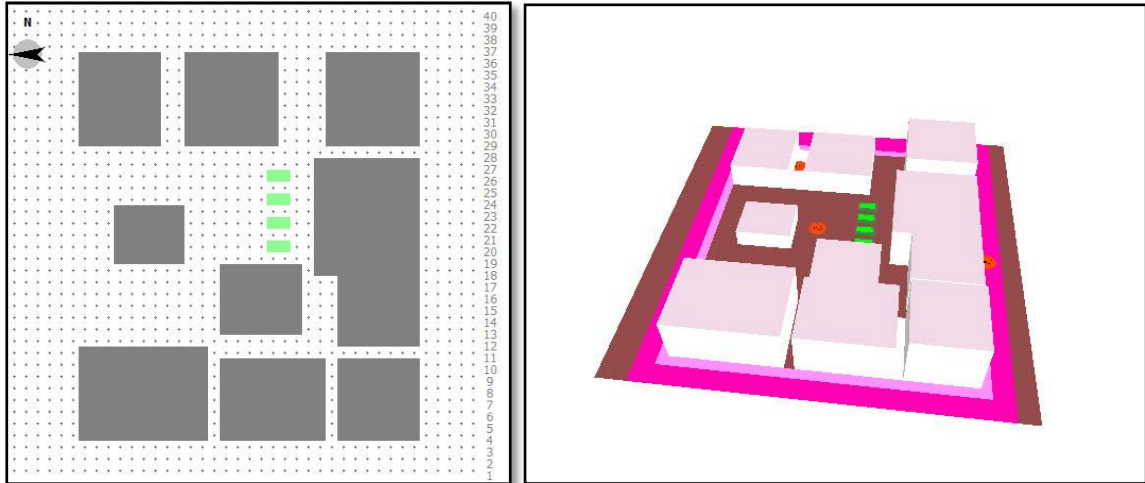


Figure 5.15. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°2: A gauche vue en 2D, à droite vue en 3D

• **Scenario N° 3:**

Ce scénario correspond à l'état d'implantation de la végétation dans l'îlot considéré, et ce afin d'étudier son impact sur le confort thermique extérieur et sur les paramètres microclimatiques (température de l'air et l'humidité) dont Envi-met simule uniquement l'effet de l'ombre et la transpiration des plantes (Figure 5.16.). Les types des végétaux utilisés sont : les herbes (hauteur = 0.5 m, albédo = 0.2), les arbres (hauteur = 11m, albédo = 0.5) ainsi que des toitures vertes au niveau des habitats (hauteur = 0.15m, albédo = 0.2).

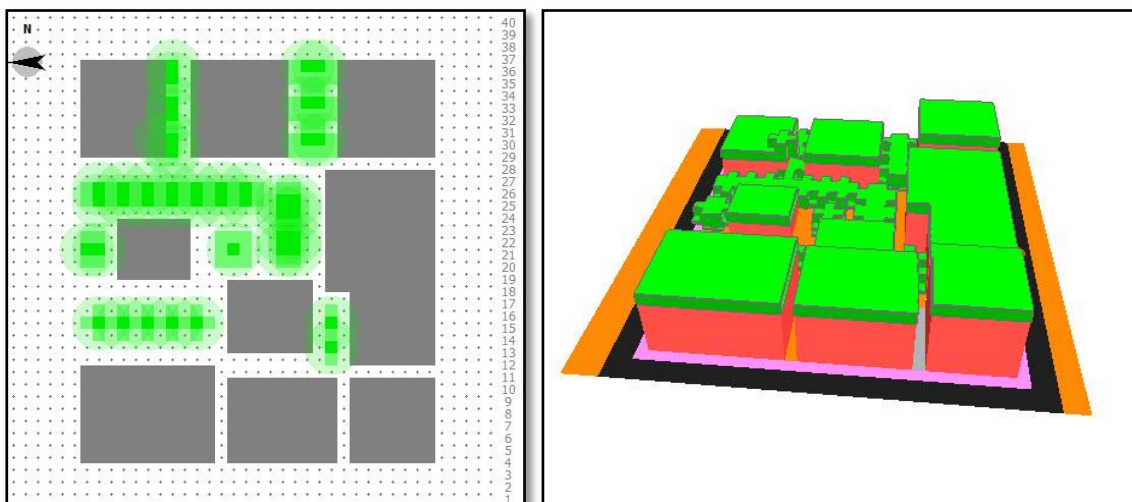


Figure 5.16. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°3: A gauche vue en 2D, à droite vue en 3D

• **Scenario N°4:**

Ce scénario correspond à la combinaison entre le scénario N°2 et le scénario N°3 pour voir l'impact de groupement des deux paramètres, étudiés d'une manière indépendante l'un par rapport à l'autre précédemment, sur les conditions microclimatiques (température de l'air et l'humidité relative).

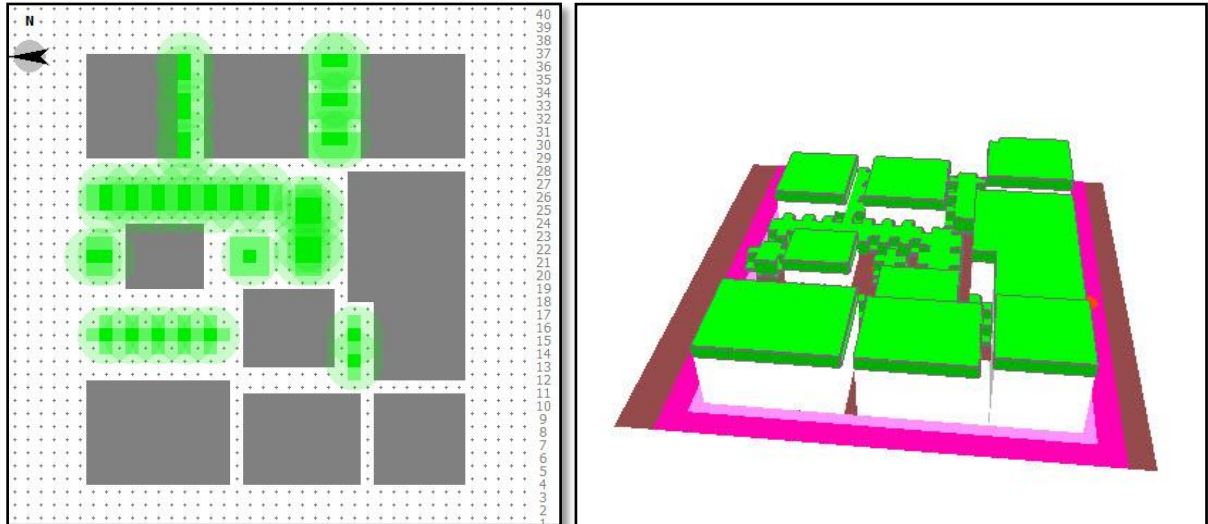


Figure 5.17. : Fichier d'entrée (.IN) pour le scenario N°4: A gauche vue en 2D, à droite vue en 3D

Conclusion

Dans le présent chapitre, les différentes caractéristiques du site d'intervention ainsi que les divers scénarios de simulation qui forment la base de recueil des résultats ont été élaborés. Le choix des outils et méthodes d'investigation permettent l'analyse et le calcul facile et confident de notre étude.

Introduction

Ce chapitre présente les divers résultats de simulation et leur interprétation. Quatre scénarios ont été élaborés et calculés pour la saison estivale. Des comparaisons entre ces scénarios ont été faites. Les paramètres introduits dans le calcul sont : l'albédo des textures des matériaux et celui de la végétation. Et ce afin de vérifier les hypothèses posées, et clarifier l'impact de ces paramètres sur le microclimat et l'accentuation du phénomène de l'ICU. Nous essayerons également d'interpréter les sorties de simulation retenues par Envi-met et lues par le programme Léonardo.

6.1. Présentation et interprétation des résultats obtenus

Les résultats obtenus de la simulation en utilisant le logiciel Envi-met concernent deux paramètres qui sont: la température de l'air et l'humidité relative.

Pour mieux comprendre le phénomène étudié, nous avons pris deux moments différents du jour:

- Pendant la journée à 15 heures après midi: les conditions climatiques présentent un changement remarquable.
- Pendant la nuit à 21 heures: l'effet de l'ICU commence à se manifester après quelques heures du coucher de soleil.

Les valeurs de températures de l'air ainsi que d'humidité relative sont prises du même point ($x= 25$, $y= 30$, $z= 2$) pour tous les scénarios.

Les coupes horizontales sont prises à une hauteur de 1m à partir du sol. Les coupes verticales sont prises selon l'axe Est-Ouest.

6.1.1. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°1

A. Température de l'air

La température de l'air est un paramètre important à évaluer, car il représente la température ambiante qui règne en ces espaces, ce qui permettra plus loin d'estimer le confort thermique des piétons.

▪ A 15 heures

Les résultats de Léonardo indiquent que la couleur chaude exprime le taux le plus élevé de température de l'air. Cette couleur est remarquable du côté Est jusqu'à Sud-Ouest et due à la chaleur emmagasinée par les surfaces ayant des albédos faibles précisément (Figure 6.1).

Les températures de l'air atteignent des valeurs élevées puisque les matériaux ont stockés suffisamment de chaleur pour se réchauffer, après l'exposition au rayonnement solaire pour une longue période. Les rayonnements solaires ont été absorbés et non réfléchis.

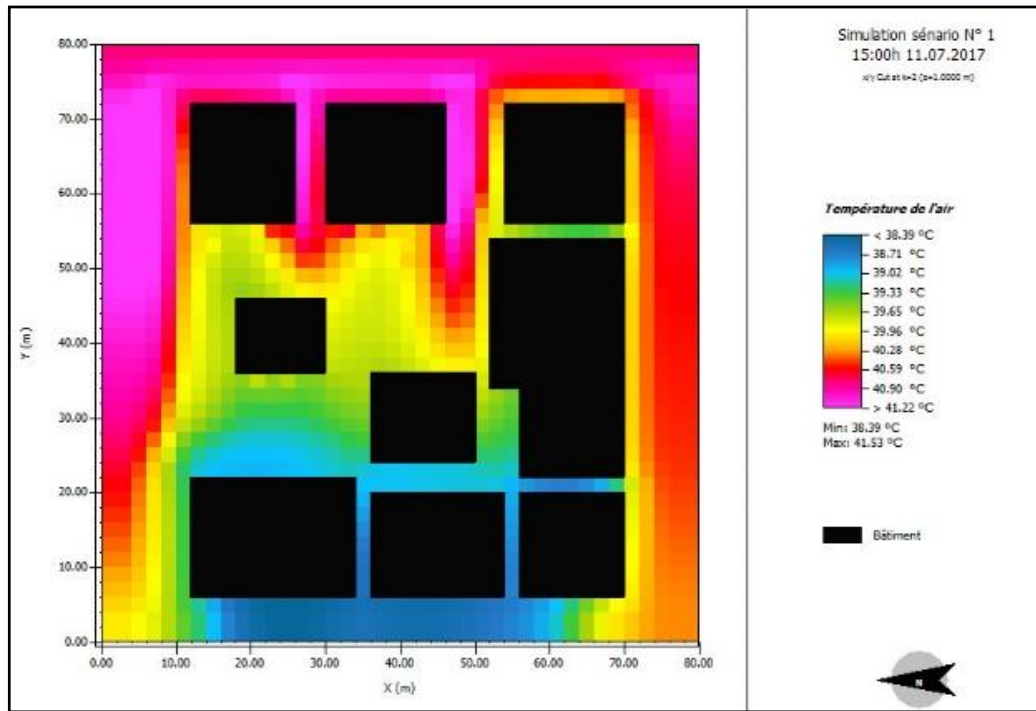


Figure 6.1. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l’air pour le scénario N°1

La valeur maximale de température de l'air est enregistrée pendant l'après-midi à 15 heures, en ayant pour valeur 41.53°C au niveau de la chaussée à albédo 0.2. La valeur minimale de température de l’air enregistrée à cette heure est 38.39°C car les rayons solaires n’ont pas encore atteint le côté Ouest, par conséquent les matériaux gardent leur fraîcheur ainsi qu’ils sont protégés par l’ombrage des bâtiments. Les valeurs moyennes enregistrées au cœur de l’îlot sont justifiées par l’écoulement des vents dominants (pas d’obstacles), ainsi que l’ombrage des bâtiments qui l’entourent.

▪ A 21 heures

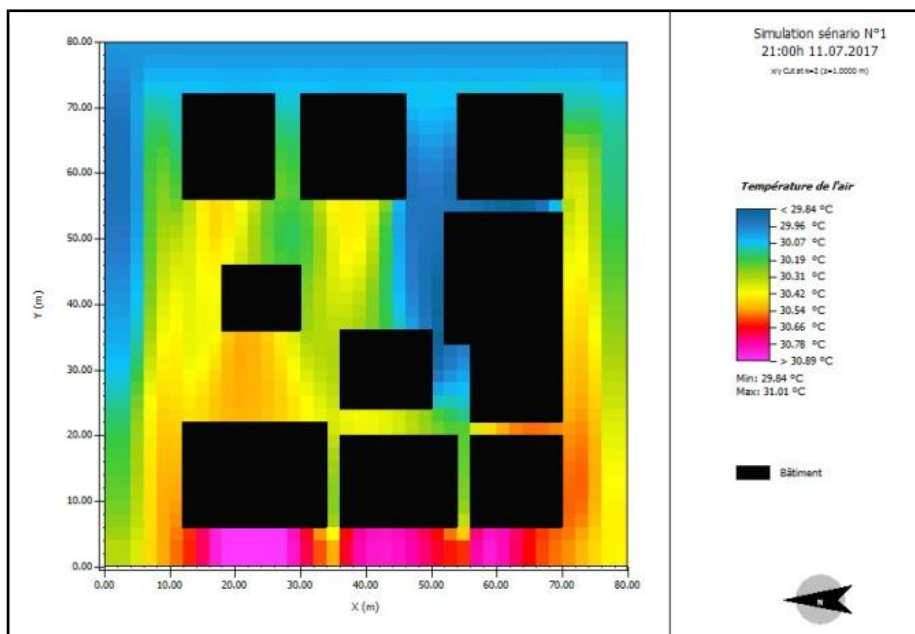


Figure 6.2. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l’air pour le scénario N°1

CHAPITRE 6: RESULTATS ET INTERPRETATION

Contrairement aux résultats enregistrés à 15 heures après midi, les valeurs minimales de température de l'air sont enregistrées pour les matériaux à faible albédo (Figure 6.2.). Cela s'explique par le dégagement de la chaleur stockée, pendant toute la nuit, par ces matériaux qui commencent à se refroidir et par conséquent diminuer la température de l'air. Par ailleurs, les valeurs maximales de température de l'air enregistrées sont justifiées par le retard constaté concernant l'opération d'emménagement de chaleur pour les endroits concernés et donc la perte de chaleur sera effectuée dans les heures prochaines.

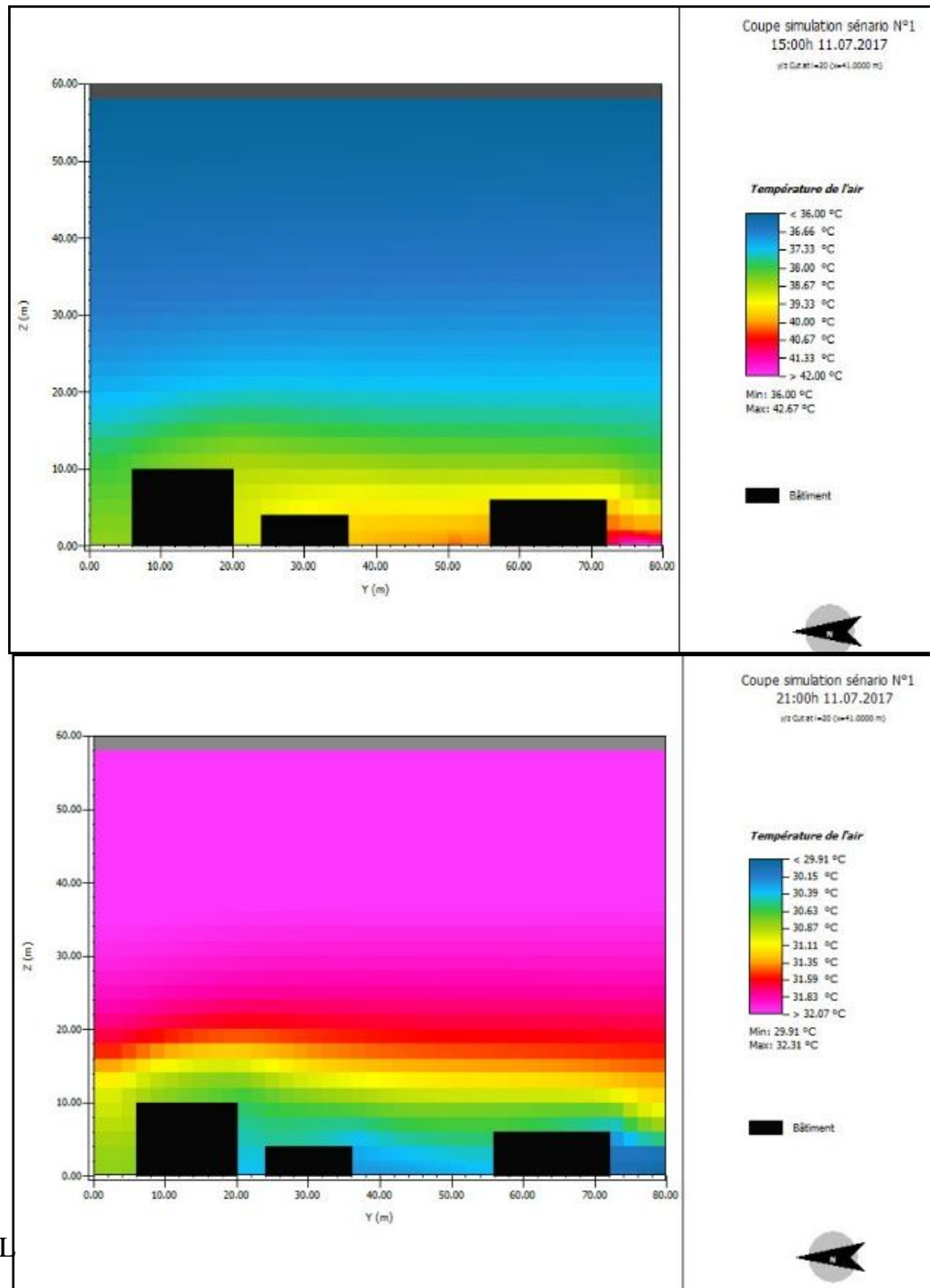


Figure 6.3. : Coupes verticales présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°1. Au-dessus la coupe à 15h, au-dessous la coupe à 21h

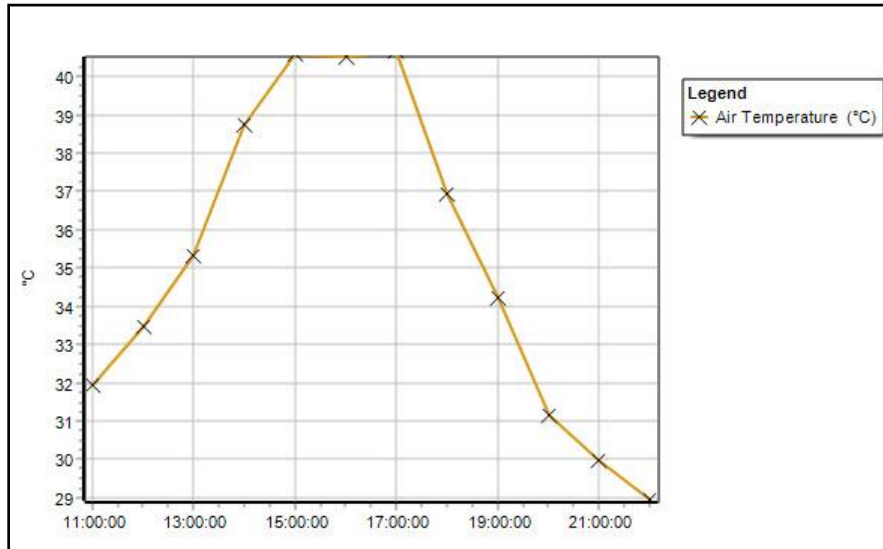


Figure 6.4. : Graphe de température de l'air de scénario N°1

Les températures de l'air subissent une inversion entre le jour et la nuit. En effet, le phénomène de l'ICU apparaît à partir de l'après-midi où les températures sont maximales (40.68°C) et s'étale pendant toute la nuit jusqu'au lever de soleil: les surfaces absorbantes ayant stocké de la chaleur pendant le jour commencent à la perdre progressivement sous forme de rayonnement infrarouge, engendrant une hausse de température aux niveaux supérieurs de l'atmosphère, contrairement au jour (figure 6.3.). Cela permettra à ces matériaux de garder leur température fraîche pendant le matin et donc le refroidissement de l'air.

B. Humidité relative

L'humidité relative est inversement proportionnelle avec la température de l'air. La valeur maximale enregistrée est 79.45 % à 22 heures, et la valeur minimale est 26.58 % à 17 heures.

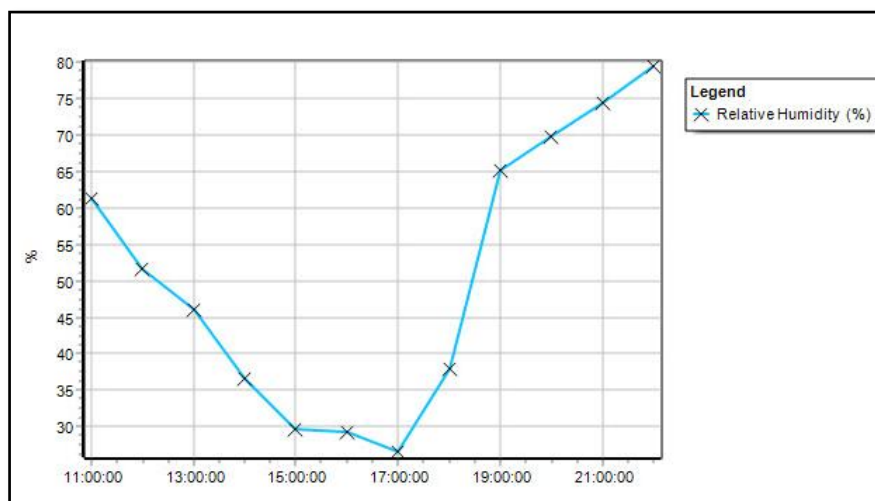


Figure 6.5. : Graphe d'humidité relative pour le scénario N°1

6.1.2. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°2

A. Température de l'air

▪ A 15 heures

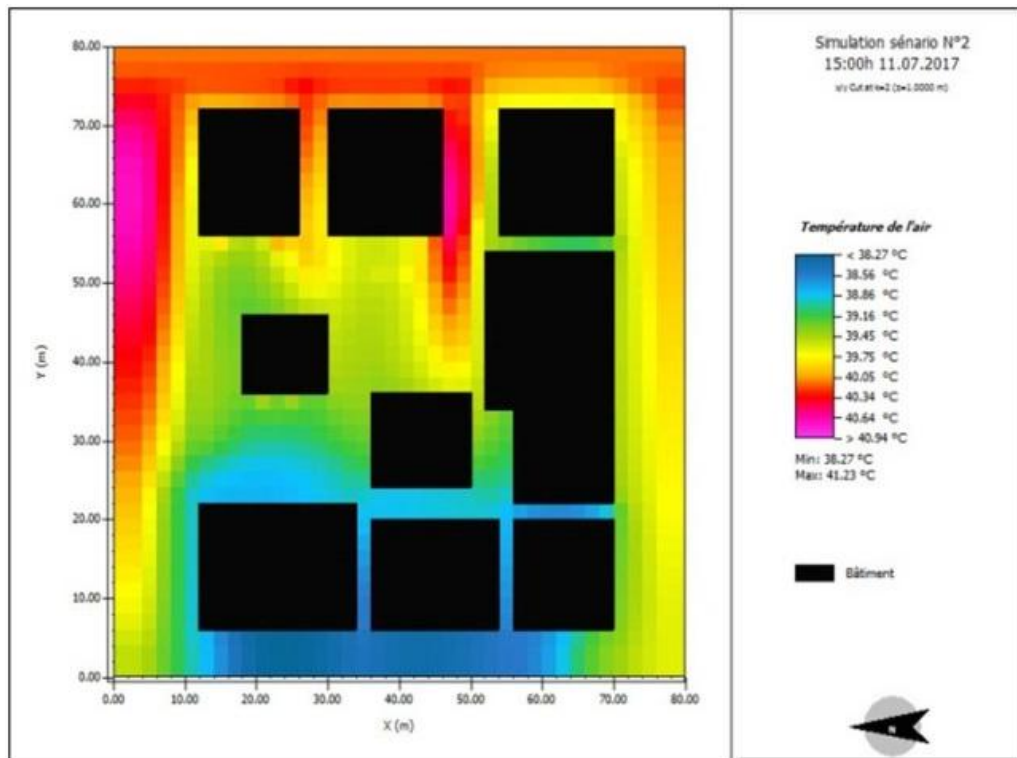


Figure 6.6. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°2

En faisant une comparaison avec les résultats du scénario N°1, on remarque une diminution de température d'air expliquée par le changement des albédos faibles des matériaux par des albédos plus élevés (Figure 6.6.). Ces matériaux ont une capacité plus importante que les premiers à réfléchir les rayons solaire. La quantité de chaleur emmagasinée sera inférieure à celle dans le premier cas et par conséquent les températures de l'air seront réduites.

La valeur maximale de température de l'air dans ce scénario est 41.23°C et la valeur minimale de température de l'air enregistrée à cette heure est 38.27°C.

▪ A 21 heures

Les températures de l'air enregistrées pendant la nuit sont également inférieures à celles du scénario N°1 (Figure 6.7.). Cet écart est justifié par les quantités de chaleur libérées par les matériaux dans l'environnement qui sont inférieures à celles du scénario N°1.

La valeur maximale de température de l'air enregistrée est 30.98°C et la valeur minimale est 29.83°C.

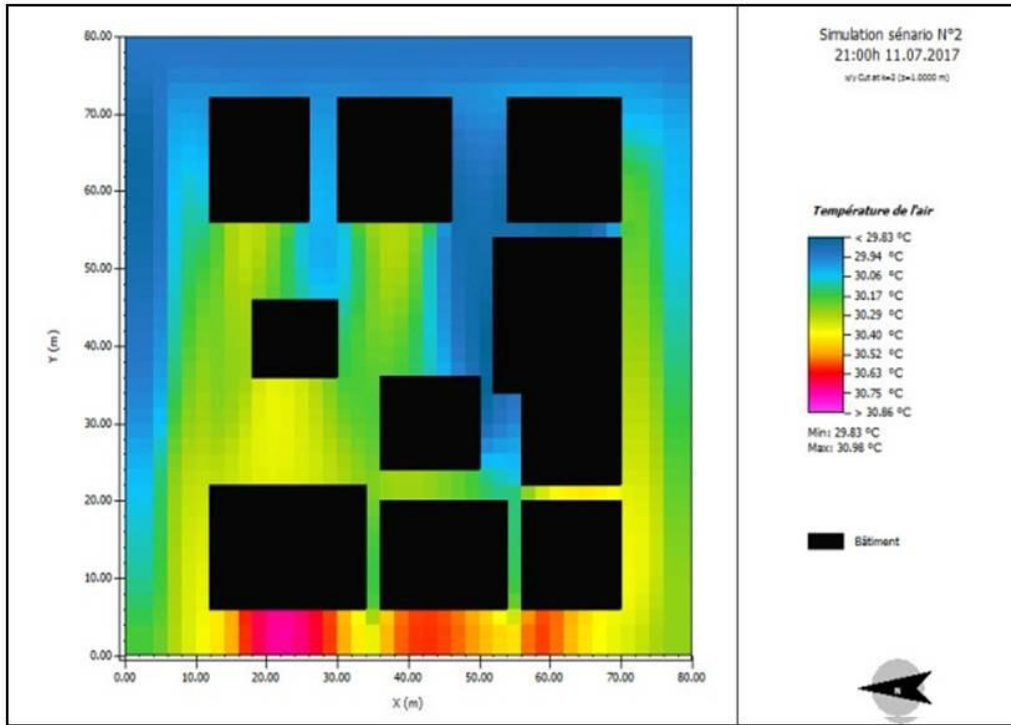


Figure 6.7. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°2

Un écart de température de l'air de 0.78°C est constaté au niveau des couches d'air en jour (Figure 6.8.), et une différence de 0.09°C en nuit, qui se sont refroidies légèrement (Figure 6.9.).

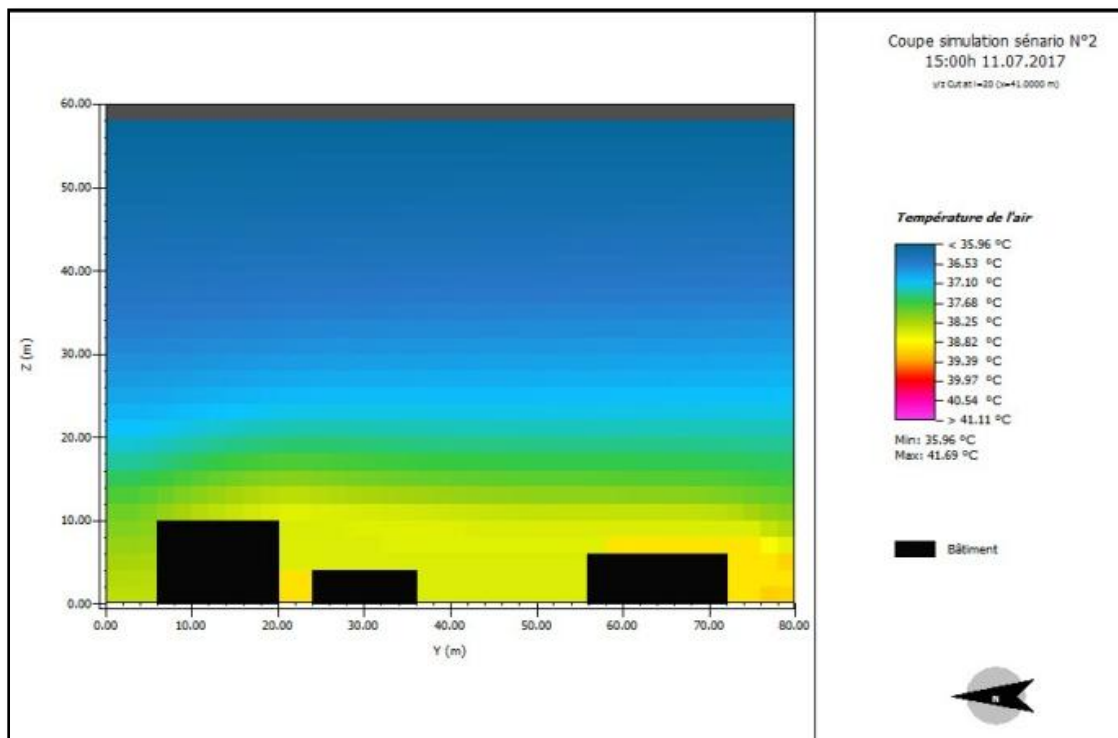


Figure 6.8. : Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°2

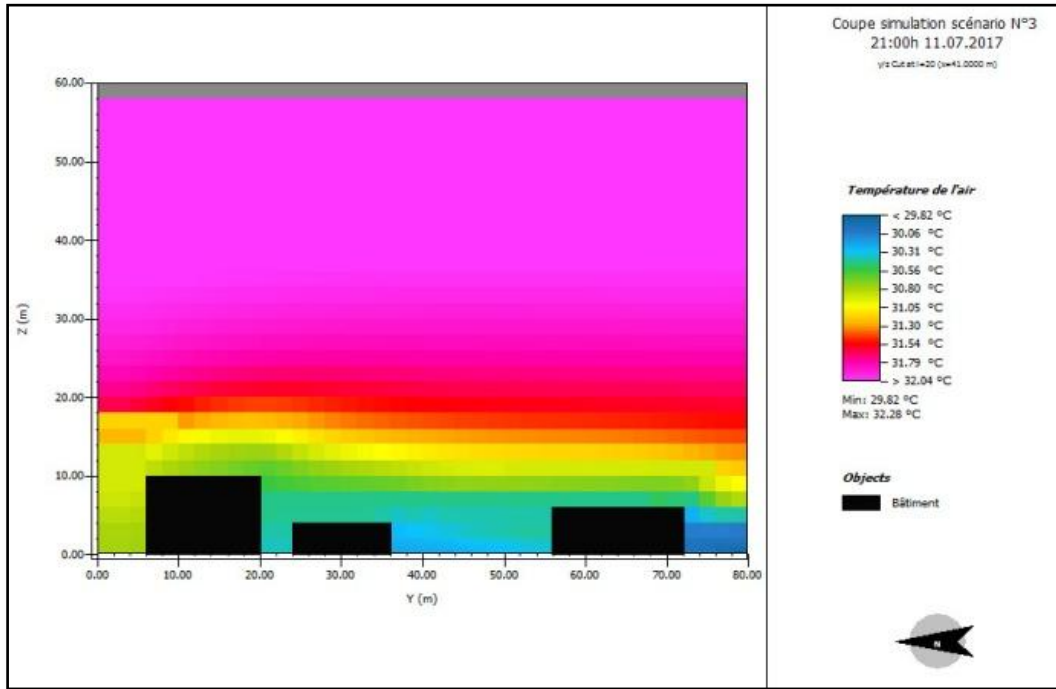


Figure 6.9. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°2

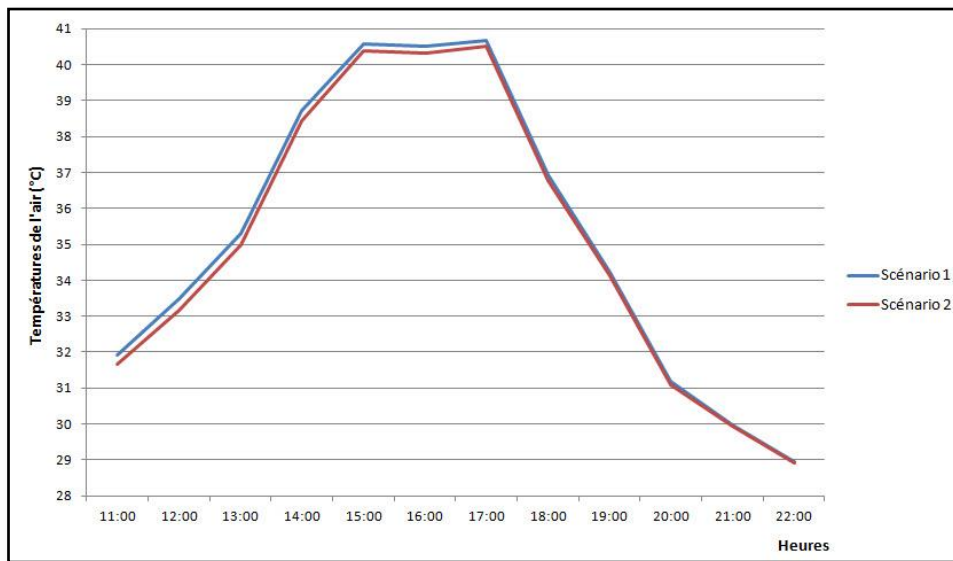


Figure 6.10. : Graphe de la température de l'air pour le scénario N°1 et le scénario N°2

B. Humidité relative

Le graphe de l'humidité relative représentant le scénario N°1 et N°2 (Figure 6.10.) montre l'écart de 0,59 % avant 17 heures et l'écart de 0,24 % après 17 heures. En effet l'humidité relative dépend uniquement de la température de l'air et varie également en fonction d'elle. L'influence des variations des températures sur l'humidité relative peut être très importante.

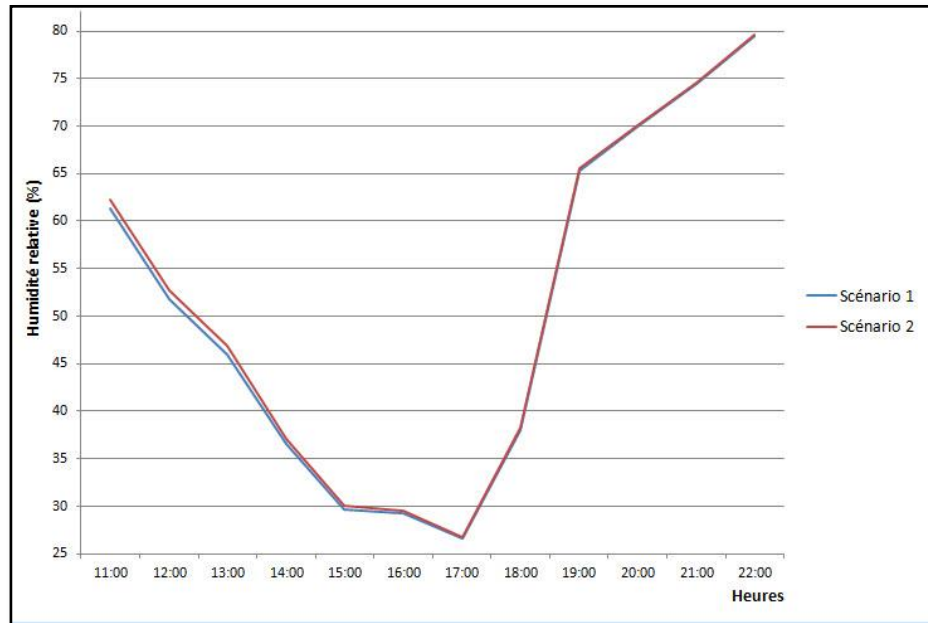


Figure 6.11. : Graphe de l'humidité relative pour le scénario N°1 et le scénario N°2

6.1.3. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°3

A. Température de l'air

- A 15 heures

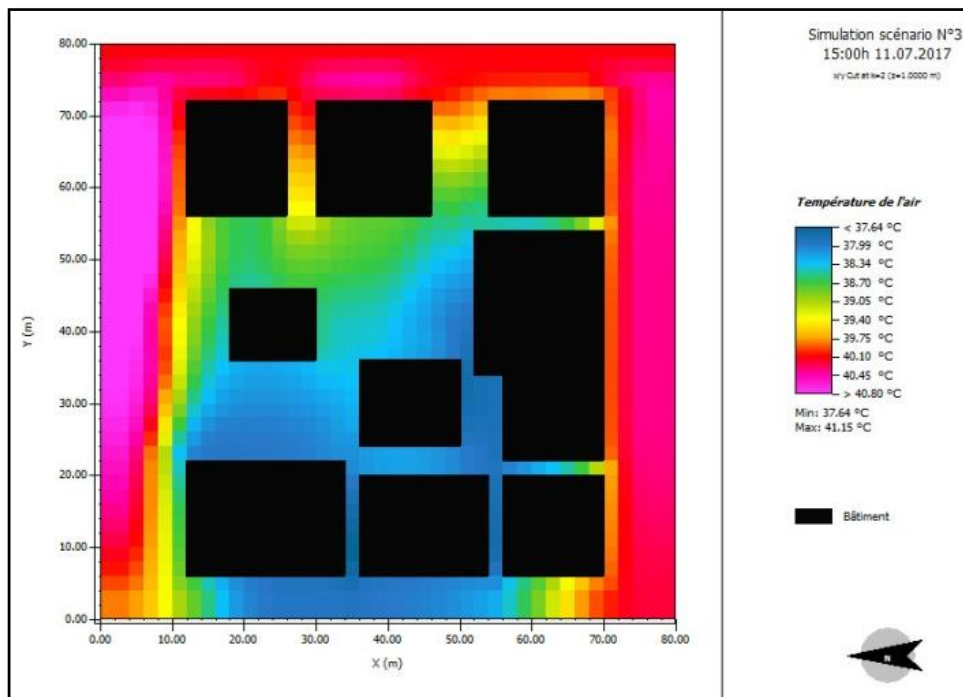


Figure 6.12. Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°3

En faisant la comparaison avec les résultats du scénario N°1, on constate un refroidissement de température de l'air dans les endroits où nous avons intégré la végétation (Figure 6.12.). Cette dernière a une capacité importante à intercepter les rayons solaires ainsi

que sa contribution à protéger les surfaces du réchauffement grâce à son ombrage. La quantité de chaleur emmagasinée sera inférieure à celle dans le premier cas et par conséquent les températures de l'air seront réduites. La valeur maximale de température de l'air dans ce scénario est 41.15°C et la valeur minimale de température de l'air enregistrée à cette heure est de 37.64°C.

▪ A 21 heures

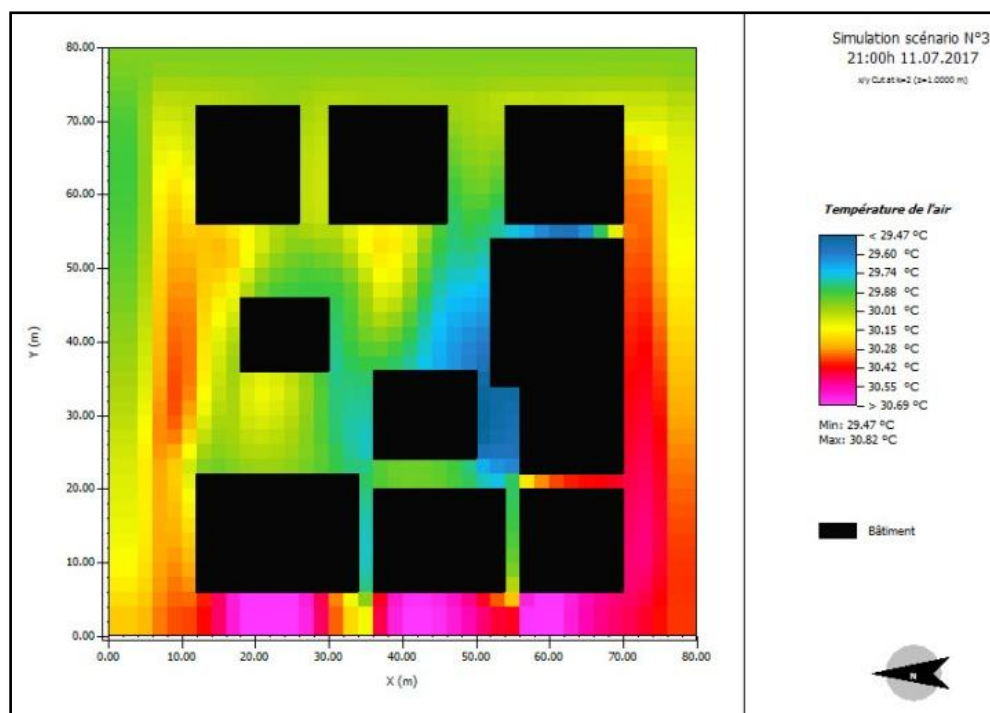


Figure 6.13. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l'air pour le scénario N°3

Les températures de l'air enregistrées (Figure 6.13.) pendant la nuit sont également inférieures à celles du scénario N°1. Cela est justifié par l'effet de la végétation qui a permis de stocker puis libérer moins de chaleur que le scénario N°1. La valeur maximale de température de l'air enregistrée est 30.82°C et la valeur minimale est 29.47°C.

Le graphe de température de l'air représentant le scénario N°1 et N°3 (Figure 6.14.) montre une chute de valeurs de températures dans le scénario N°3. L'écart maximum est 1.50 °C (de 15 heures à 17 heures: La période où les surfaces sont réchauffées complètement) entre les températures avant et après l'implantation de la végétation. Ce résultat revient au rôle efficace de la végétation dans l'atténuation de la température de l'air ambiant.

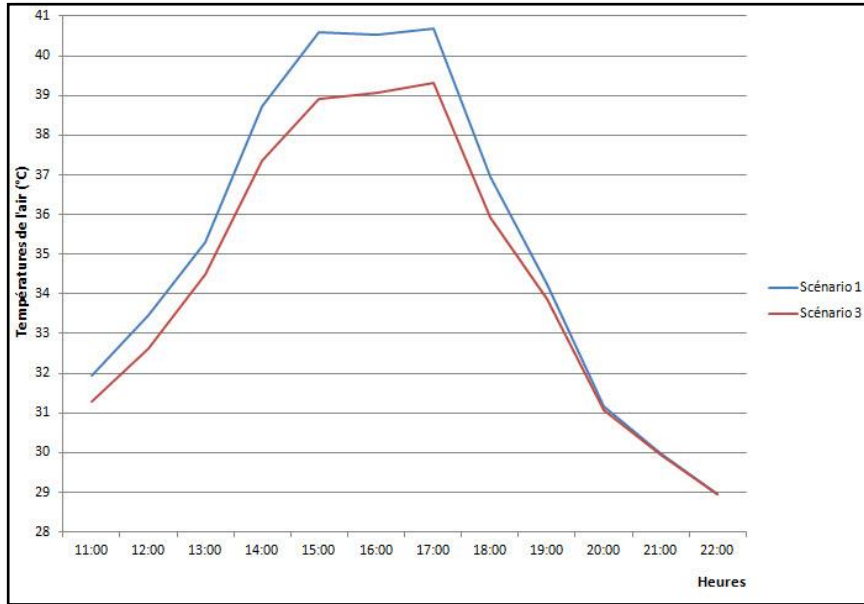


Figure 6.14. : Graphe de la température de l'air pour le scénario N°1 et le scénario N°3

Un écart clair de température de l'air de 1.04°C est constaté au niveau des couches d'air qui se sont refroidies en jour (Figure 6.15.), et une différence de 0.12°C en nuit (Figure 6.16).

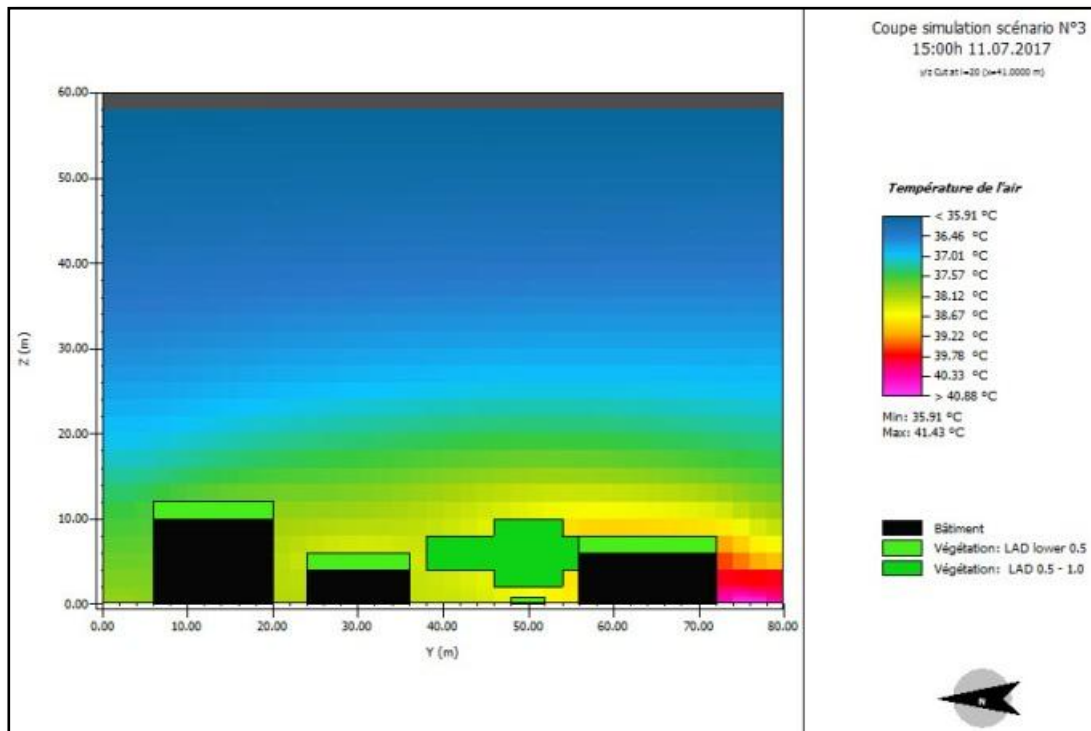


Figure 6.15. : Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°3

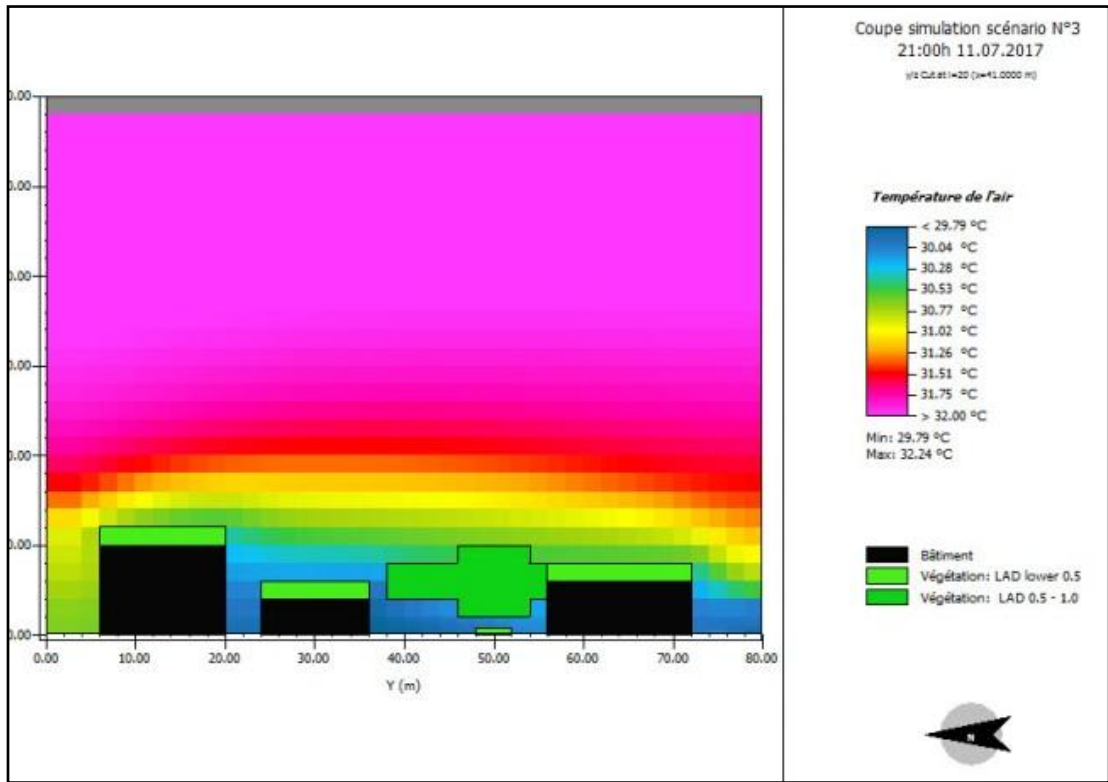


Figure 6.16. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°3

B. Humidité relative

Le graphe de l'humidité relative représentant le scénario N°1 et N°3 montre un écart qui atteint la valeur de 3.35 % (de 15 heures à 17 heures). Les valeurs d'humidité sont supérieures à celle du scénario N°1. Ces valeurs, qui dépendent de la température de l'air, sont accentuées dans ce cas par le phénomène de l'évapotranspiration des végétations.

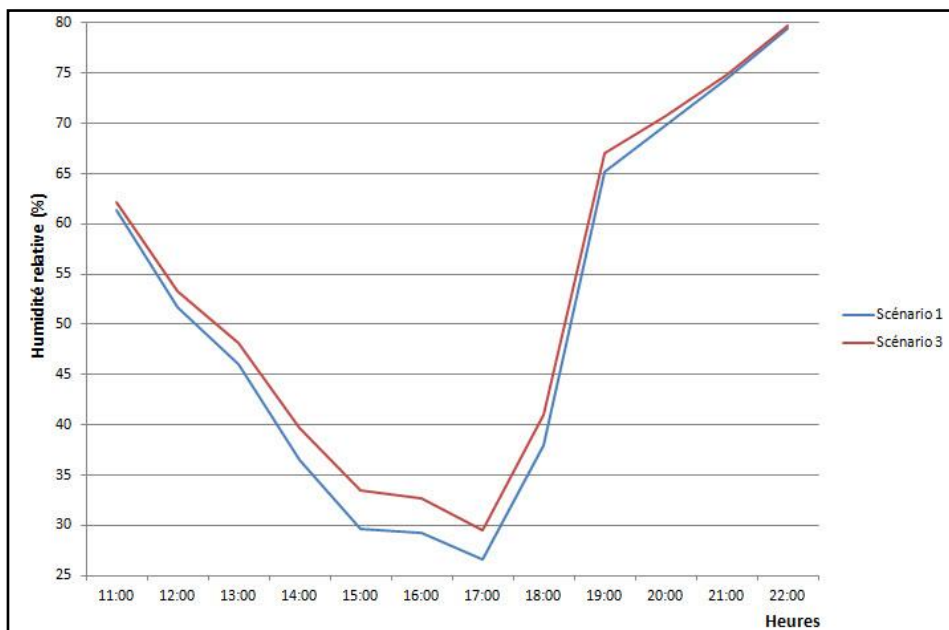


Figure 6.17. : Graphe de l'humidité relative pour le scénario N°1 et le scénario N°3

6.1.4. Variations de température et de l'humidité de l'air pour le scénario N°4

A. Température de l'air

▪ A 15 heures

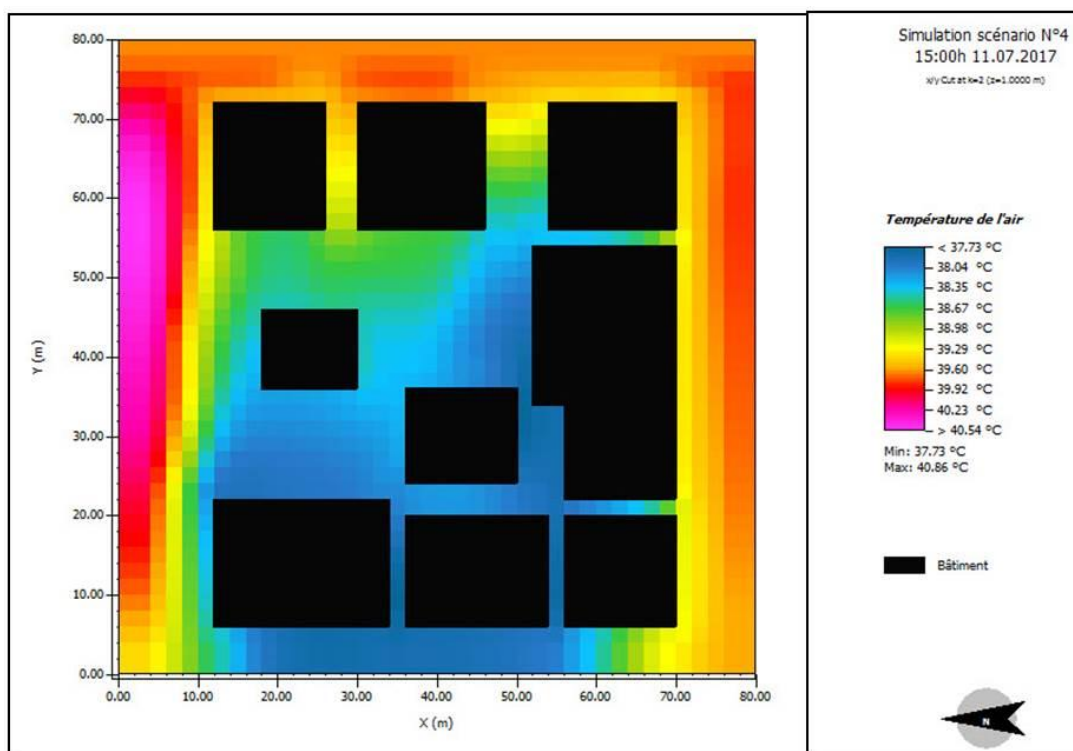


Figure 6.18. : Coupe horizontale à 15h présentant les températures de l'air pour le scénario N°4

En faisant la comparaison avec les résultats des scénarios précédents, on remarque que les températures de l'air pour ce scénario sont les plus inférieures (Figure 6.18.). Ces valeurs diminuées sont justifiées par l'accumulation des conditions, déjà approuvées auparavant, capables d'influencer la température de l'air ambiant. Les surfaces horizontales et verticales ont subi une amélioration en matière de capacité de réflexion du rayonnement solaire par l'augmentation des valeurs de l'albédo des matériaux et l'implantation de la végétation. La valeur maximale de température de l'air dans ce scénario est 40.86°C et la valeur minimale de température de l'air enregistrée à cette heure est de 37.73°C.

▪ A 21 heures

Les températures de l'air enregistrées pendant la nuit sont également les plus inférieures par rapport à celles des scénarios précédents (Figure 6.19.). Cela est justifié par le groupement de l'effet des albédos élevés et des végétaux sur la réduction des quantités de chaleur emmagasinée pendant le jour et par conséquent la réduction des quantités de chaleur dégagée pendant la nuit. La valeur maximale de température de l'air enregistrée est 30.78°C et la valeur minimale est 29.45°C.

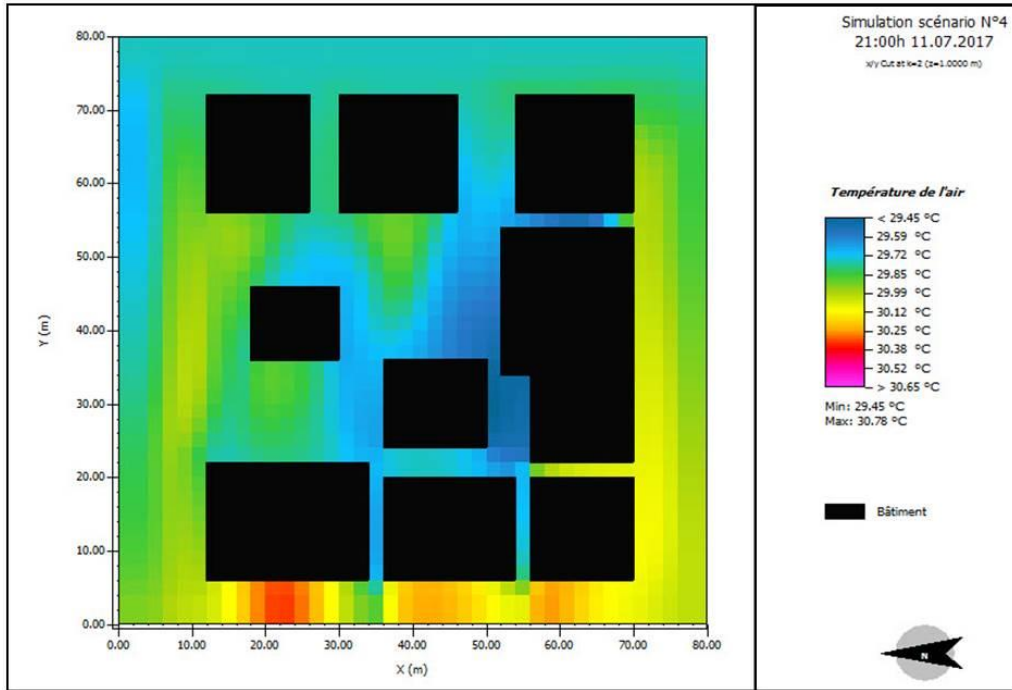


Figure 6.19. : Coupe horizontale à 21h présentant les températures de l’air pour le scénario N°4

Le graphe de température de l’air représentant les scénarios élaborés dans cette simulation (Figure 6.20.), montre que l’air dans les scénarios N°2, N°3 et N°4 est rafraîchi par rapport au scénario N°1 en notant que les écarts entre les valeurs de température de l’air augmentent successivement. Cela signifie que l’effet de la végétation sur l’atténuation des températures de l’air est plus important que l’effet de changement des albédos dans notre cas, ainsi que le groupement des deux effets est plus influent que considérer chaque effet séparément.

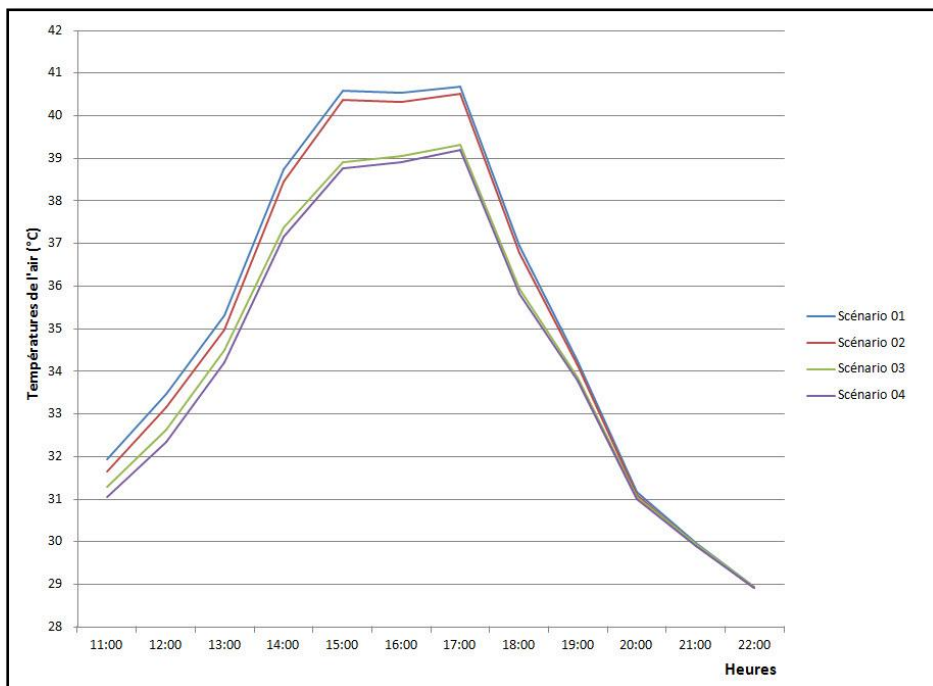


Figure 6.20. : Graphe de la température de l’air pour tous les scénarios

CHAPITRE 6: RESULTATS ET INTERPRETATION

On constate, également, que l'écart de température au niveau des couches d'air est plus important dans ce scénario par rapport à ceux qui le précèdent. Il atteint 1.97 °C en jour (Figure 6.21.) et 0.16 °C en nuit (Figure 6.22.).

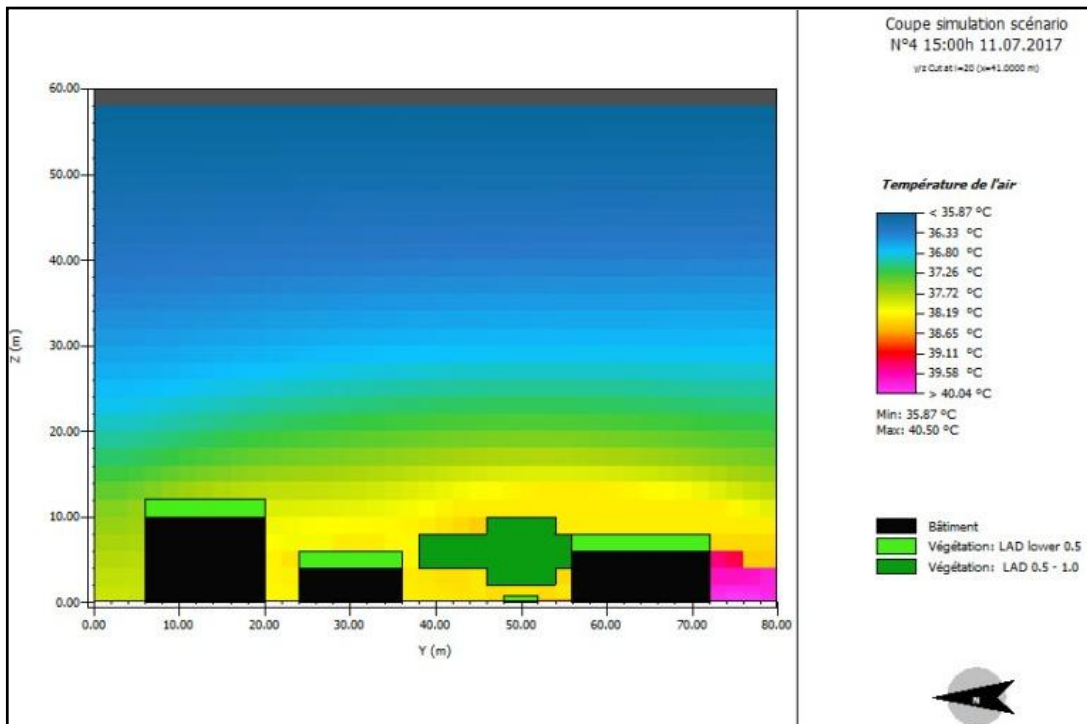


Figure 6.21. : Coupe verticale à 15h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°4

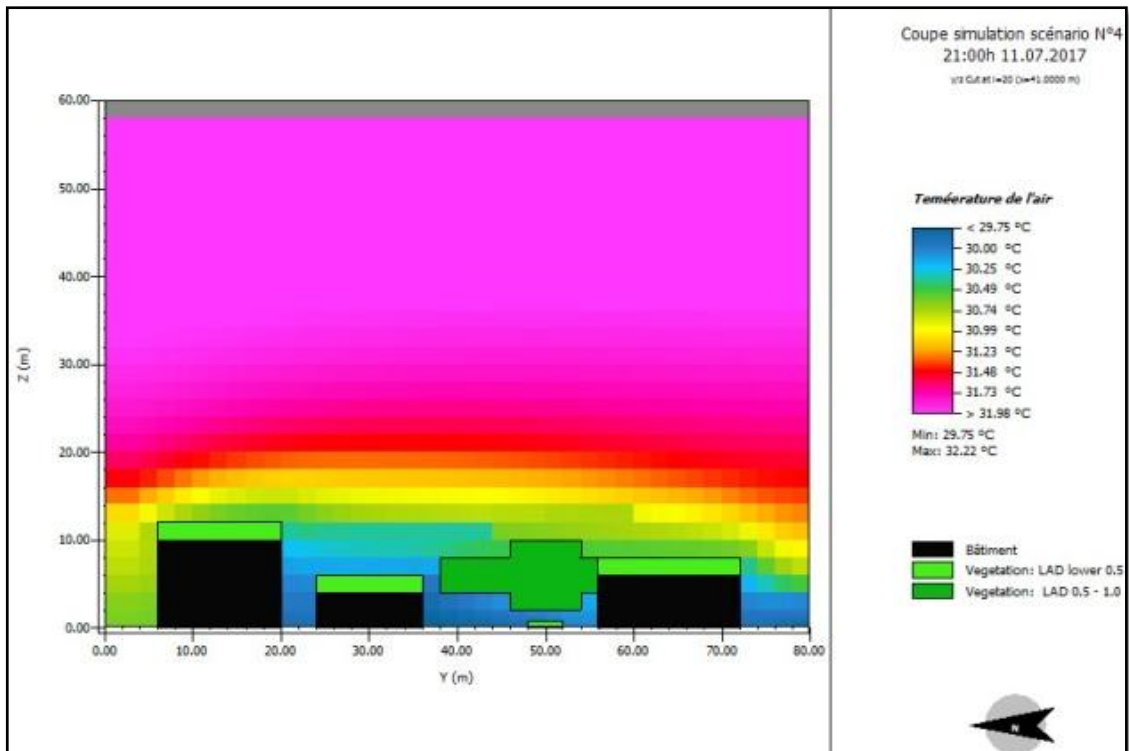


Figure 6.22. : Coupe verticale à 21h présentant les températures des couches d'air pour le scénario N°4

B. Humidité relative

Dépendant de la température de l'air, l'humidité relative dans ce scénario présente une augmentation plus importante par rapport aux scénarios précédents qui atteint la valeur de 4 % (de 15 heures à 17 heures).

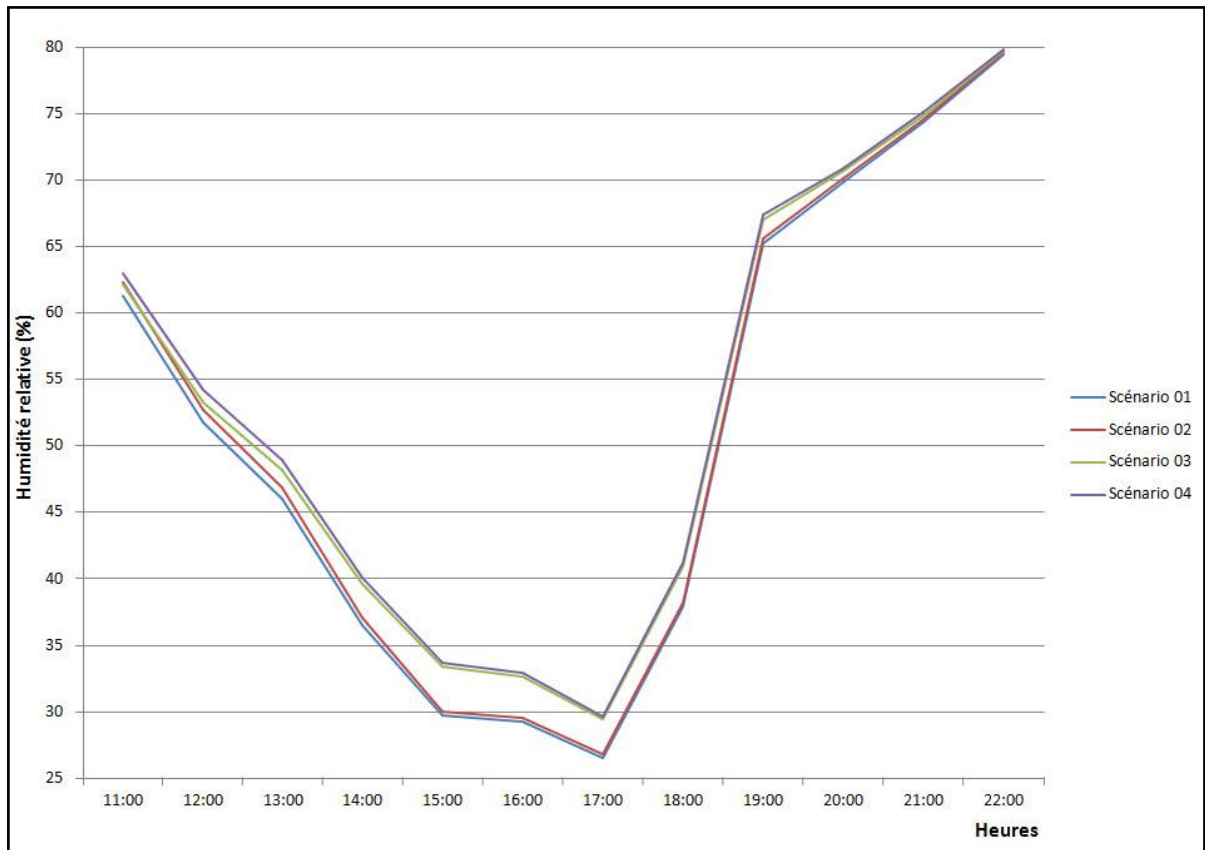


Figure 6.23. : Graphe de l'humidité relative pour tous les scénarios

Conclusion

D'après les différents résultats obtenus, nous avons observé que la température de l'air à l'état initial était élevée. Le changement des albédos des surfaces horizontales et verticales et l'implantation des arbres ont amélioré les conditions microclimatiques, que ce soit au niveau de l'air ambiant ou de l'air dans les couches supérieures au dessus des bâtiments. Il a été noté que l'impact de la végétation (effet de l'ombrage et de l'évapotranspiration) était plus marqué que le changement des albédos des surfaces. Ainsi, on a conclu que la combinaison des deux a le plus grand effet. Donc, agir sur les albédos des surfaces et végétaliser suffisamment sont parmi les solutions à envisager pour assurer le confort thermique des espaces urbains et atténuer l'effet de l'ICU.

Les populations urbaines devront s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. L'analyse des caractéristiques de la climatologie urbaine incite à comprendre le phénomène de l'ICU, relatif au microclimat urbain, et ensuite éclaircir les mécanismes permettant d'atténuer ses effets.

Dans notre étude de cas sur la ville de Taher, nous pouvons affirmer pour l'échantillon traité, qu'il existe une relation entre les caractéristiques urbaines du site donné et la variation des conditions microclimatiques sous forme d'ICU. Ceci peut être généralisé pour l'ensemble de l'agglomération de Taher.

L'ouverture d'esprit de la part des architectes, des urbanistes et des aménageurs à l'intégration de critères climatiques dans leurs pratiques sera bénéfique pour traiter les problèmes plus généraux que sont l'environnement et la qualité de vie et s'intègre parfaitement avec l'esprit d'un développement urbain durable réussi.

Pour révolutionner la conception urbaine au profit du bien-être en ville, deux éléments sont déterminants: Le choix de stratégies d'aménagement durable et des solutions techniques performantes aux bénéfices multiples (environnement, santé publique, intégration paysagère et qualité de vie).

Dans l'ensemble, les recommandations agissent principalement sur les conditions climatiques environnantes des bâtiments, ainsi que sur leur enveloppe extérieure ayant un contact direct avec les radiations solaires. Il ressort de la recension des mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains de nombreuses possibilités de création de fraîcheur en milieu urbain. De manière générale, deux solutions majeures sont proposées. La première est de remplacer les surfaces foncées comme les toits noirs et les routes asphaltées par des surfaces claires et réfléchissantes, ainsi qu'à travers l'utilisation des toitures vertes. La deuxième est d'augmenter la quantité d'espaces verts en milieu urbain et qui repose sur la plantation d'arbres et l'aménagement d'espaces verts. L'implantation de ces mesures permet une diminution des températures et un accroissement du verdissement urbain. Ils permettent également d'améliorer la qualité de l'air, la santé des populations et de modifier l'urbanisation du territoire.

Les effets des ICU sont désormais inévitables. L'atténuation de ces effets sera parmi les grandes préoccupations des générations à l'ère actuelle ou dans le future. L'ICU doit faire l'objet de mesure d'adaptation.

LA LISTE DES REFERENCES

- ACHOUR BOUAKKAZ, N. (2006). La Relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : Cas de la ville d'Alger. Thèse en vue de l'obtention du Magister. Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). (2013). Orientations stratégies urbanisme durable de période 2012-2015.
- Agence Régionale de l'environnement et des nouvelles Energies –ARENE- . (2005). Quartiers durables : Guide d'expériences européennes. France : IMBE.
- BALLOUT, A. (2010). Le rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain: cas de la place d'Ain El Fouara à Sétif. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister. Université Mentouri de Constantine.
- BOUARROUDJ ZERTAL, N., (2001). Etat de l'environnement urbain et prémisses de développement urbain durable en Algérie –*Vers une lecture écologique de Constantine*- . Pour l'obtention du diplôme de Magister. Université Mentouri de Constantine. P 55.
- BOUGASSA, A. (2009). Le foncier urbain dans la petite région de Taher ; disponibilité, mobilisation et contentieux. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister. Université Mentouri de Constantine.
- BOUKHABLA, M. (2015). L'influence des facteurs climatiques sur la modification de l'îlot de chaleur urbain dans une rue « canyon, dièdre et dégagée », Cas des lotissements Biskra. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider – Biskra.
- BOULFANI, W., (2010). Les Ambiances Thermiques d'été dans l'habitat de la période coloniale à patio, cas d'étude : maisons à patio (Jijel). Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université Mohamed Khider – Biskra. [En ligne] <http://thesis.univ-biskra.dz/2426/> (Consulté le 07-02-2018).
- CEDER, T. ; PIETER, P., (2013). Développement durable : l'aménagement du territoire durable: *gérer son territoire pour spatialiser ses politiques. Belgique*. N°874.
- CHAMBERLIN, T., (2010). L'urbanisme durable comme nouveau modèle urbanistique : le cas du territoire stéphanois. Mémoire de séminaire Economie du développement durable. Université lumière Lyon 2.

- Chambre de l'Ingénierie et du Conseil de France et al. Pour la réalisation d'opérations d'aménagement durable : La démarche HQE –Aménagement.
- CHARLOT VALDIEU, C. ; OUTREQUIN, P., (2011). L'urbanisme durable : concevoir un écoquartier. Édition LE MONITEUR. France.
- COLOMBERT, M. (2008). Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Université Paris-Est.
- COLOMBERT, M. ; BOUDES P., (2012). Adaptation aux changements climatiques et trames vertes : Quels enjeux pour la ville? Les Éditions en environnement Vertigo. [En ligne] (12) <http://journals.openedition.org/vertigo/11821> (Page consultée le 08-02-2018)
- DIAS, D. (2009). Outils et méthodes de l'urbanisme durable, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master 2 option : Projet d'urbanisme et action opérationnelle d'Institut d'Urbanisme et d'aménagement Régional, France.
- Direction départementale des territoires. (2016). Qu'est-ce que l'Aménagement Durable ?. France.
- DUBOIS, C. (2014). Adapter les quartiers et les bâtiments au réchauffement climatique : *Une feuille de route pour accompagner les architectes et les designers urbains québécois*. Thèse en vue de l'obtention du Doctorat. Université de Toulouse.
- EL'ATARI, A. ; ABOU F., (2015). Ilot de chaleur urbain, université Tanger, Maroc.
- EMELIANOFF, C., (2001). De la Charte d'Athènes à la Charte d'Aalborg : un renversement de perspectives *Au-delà d'une remise en question générale, la vision de la ville durable retourne comme un gant les principes fondamentaux de la Charte d'Athènes*. [En ligne] <http://base.d-p-h.info/en/fiches/dph/fiche-dph-8457.html> (Page consultée le 04-04-2018)
- FERNANDEZ H. ; DESHAIES M. (2013). Des îlots de chaleur aux îlots de fraîcheur. Ministère de la santé et des services sociaux et l'institut national de santé publique de Canada.
- FERNANDEZ H. ; DESHAIES M. (2013). Lutte aux îlots de chaleur urbains: passez à l'action!. Ministère de la santé et des services sociaux et l'institut national de santé publique de Canada.
- FILIATREAU, Y. (2015). Changements climatiques et îlots de chaleur: *indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation*. Essai en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en environnement. Centre universitaire de formation en environnement et développement durable au Canada.

- FREUDENTHAL, E., (2008). Écoquartier - Hammarby Sjöstad (Stockholm - SE). [En ligne] www.energy-cities.eu/db/stockholm_579_fr. (Page consultée le 14-05-2018).
- GAFFNEY, A. et al. (2007). HAMMARBY SJOSTAD Stockholm, Sweden: A Case Study. [En ligne] <http://www.aeg7.com/assets/publications/hammarby%20sjostad.pdf> (Page consultée le 10-05-2018)
- GIGUERE, M. (2009). Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec.
- JENKINS, C., (2005). Séminaire Qu'est-ce que l'urbanisme durable ? Parc naturel régional des Ballons des Vosges, France.
- KAOUACHE, S. ; KISSOUM, S. (2016). Bâtiments végétalisés et ambiances intérieures des habitations. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master académique. Université Mohammed Seddik Benyahia Jijel.
- LECONTE, F. (2014). Caractérisation des îlots de chaleur urbain par zonage climatique et mesures mobiles: Cas de Nancy. Thèse pour obtenir le grade de Docteur. Université de Lorraine.
- MEHESSOUEL, A. ; ROULA, F. (2016). Vers un quartier écologique durable : Cas de la ville de Jijel. Mémoire pour l'obtention du diplôme Master2. Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel – Algérie.
- MASSON, V. et al. (2013). Modélisation et simulation des objets et processus complexes : *Adaptation au Changement climatique de l'Agglomération Toulousaine*.
- MUSY, M. (2010). Quelle végétation urbaine pour la ville de demain ?. Journées d'études urbaines: *Vers une nouvelle alliance entre ville et nature*, Lausanne.
- PERREAULT, S. (2014). Processus d'acquisition de nouvelles connaissances en urbanisme. Le cas de l'îlot de chaleur urbain. Pour l'obtention du grade de maîtrise en urbanisme. Université de Montréal.
- RINGENBACH, N. (2009). Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : *mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur. Université Louis PASTEUR Strasbourg.
- ROUX, J. (2014), L'îlot de Chaleur Urbain à Dijon, Mise en place d'une campagne de mesures urbaines de la température.

- TSOKA, S. (2011). Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons : *application au cas des écoquartiers*. Thèse de Master STEU. L'Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes, l'Université de Nantes.

Les sites

- Site 1 : <http://www.voirvert.ca/communaute/wiki/nouvel-urbanisme>, date de consultation : 04-01-2018.
- Site 2 : <http://www.suden.org/fr/projets-europeens/hqe2r/>, date de consultation : 04-01-2018.
- Site 3 : <https://fr.scribd.com/document/10162667/HQE2R-Presentation-generale-Des-methodes> , date de consultation : 05-01-2018.
- Site 4 : <http://www.sers.eu/content/quest-ce-quun-ecoquartier> , date de consultation : 05-01-2018.

RESUME

La ville est particulièrement concernée par le changement climatique. Elle induit au sein de son territoire, une augmentation des températures. Cette hausse des températures observée et prévue va accroître un phénomène spécifique au milieu urbain qu'est l'îlot de Chaleur Urbain (ICU). L'ICU se caractérise par des températures estivales plus élevées en milieux urbains que dans les zones rurales environnantes. C'est dans un contexte d'adaptation à ce phénomène, le défi majeur de l'urbanisme est de trouver un compromis entre un développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. L'urbanisme durable s'agit de penser de faire la ville autrement, de créer un autre modèle d'aménagement, et d'intégrer de la dimension climatique dans la planification urbaine et de développement urbain. Le travail réalisé dans ce mémoire consistait à déterminer et à évaluer la taille du problème de l'îlot de chaleur dans un quartier appartenant à la ville de Taher qui souffre de plusieurs problèmes qui nuit au confort des habitants dans leur milieu urbain. Nous avons essayé de trouver le moyen pour améliorer ses conditions microclimatiques à travers les divers scénarios qui ont été élaborés et calculés pour la saison estivale et constitués et simulé par le logiciel Envi-met. Nos différentes simulations ont montré que le changement des albédos des surfaces et l'implantation des arbres ont amélioré les conditions thermiques du milieu. Donc, pour permettre les meilleurs résultats, il est nécessaire de tenir en compte, à la fois, le plus grand nombre possible de facteurs d'amélioration pour assurer le confort thermique des espaces urbains tout en s'appuyant sur les pratiques de l'urbanisme durable pour atténuer l'effet de l'ICU.

Mots clés : Climatologie, microclimat, îlot de chaleur, urbain, urbanisme durable, fraîcheur, albédo, végétation, Taher.

ABSTRACT

The city is particularly concerned by climate change. It induces within its territory, an increase in temperatures. This increase in observed and projected temperatures will increase a phenomenon specific to the urban environment that is the urban heat island (UHI). The UHI is characterized by higher summer temperatures in urban areas than in surrounding rural areas. It is within a context of adaptation to this phenomenon, that the major challenge of urbanism is to find a compromise between an inevitable development of cities and a high urban environment quality. Sustainable urban planning is about thinking the city differently, creating another model of planning, and integrating the climate dimension into urban planning

and urban development. The present work aims in determining and evaluating the size of the heat island problem in a neighborhood belonging to the city of Taher, which suffers from several problems that affect the comfort of the inhabitants in their urban environment. We have tried to find a way to improve its microclimatic conditions through the various scenarios that were developed and calculated for the summer season and built and simulated by Envi-met software. Our different simulations have shown that the change of surface albedo and the implantation of trees have improved the thermal conditions of the environment. So, to allow the best results, it is necessary to take into account, at the same time, the greatest possible number of factors of improvement to ensure the thermal comfort of the urban areas with reference to the practices of the urbanism to mitigate the effect of UHI.

Key words: Climatology, microclimate, heat island, urban, sustainable town planning, freshness, albedo, vegetation, Taher.

ملخص

المدينة معنية بشكل خاص بالتغير المناخي. إنها تسبب داخل إقليمها، تزايدا في درجات الحرارة. هذا الارتفاع في درجات الحرارة المرصودة والمتوقعة ستنتهي ظاهرة خاصة بالبيئة الحضرية التي هي جزيرة الحرارة الحضرية. تتميز جزيرة الحرارة الحضرية بدرجات حرارة صيفية أكثر ارتفاعا في المناطق الحضرية منه في المناطق الريفية المحيطة. وفي سياق التكيف مع هذه الظاهرة، يتمثل التحدي الرئيسي لتخطيط المدن في إيجاد حل وسط بين التنمية الحتمية للمدن والبيئة الحضرية ذات الجودة العالية. يتمثل تخطيط المدن المستدام في التفكير في المدينة بطريقة أخرى، خلق نموذج آخر للتخطيط، وإدماج البعد المناخي في التخطيط الحضري والتنمية الحضرية. تألف العمل في هذه الرسالة من تحديد وتقييم حجم مشكلة جزيرة الحرارة في حي تابع لمدينة الطاهير، والذي يعاني من عدة مشاكل تضر براحة السكان في بيئتهم الحضرية. لقد حاولنا إيجاد طريقة لتحسين ظروف المناخ المحلي من خلال السيناريوهات المختلفة التي تم وضعها وحسابها لموسم الصيف، وبنائها ومحاكاتها بواسطة برنامج Envi-met. لقد بينت عمليات المحاكاة المختلفة التي أجريناها أن تغير بياض الأسطح وغرس الأشجار قد حسّن الظروف الحرارية للبيئة. إذا، للسماح بأفضل النتائج، من الضروري الأخذ بعين الاعتبار، في آن واحد، أكبر عدد ممكن من عوامل التحسين لضمان الراحة الحرارية للفضاءات الحضرية استنادا إلى تخطيط المدن المستدام للتخفيف من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية.

الكلمات المفتاحية: علم المناخ، المناخ المحلي، جزيرة الحرارة، حضري، تخطيط المدن المستدام، حيوية، البياض، النباتات، الطاهير.