

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département d'architecture
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de

Doctorat en sciences en : Architecture
Option : Architecture

**Investigation paramétrique des effets de la forme urbaine sur le
potentiel solaire dans les quartiers résidentiels en Algérie**

Présenté par :

MAHAYA Chafik

Soutenu publiquement le 28 Novembre 2022

Devant le jury composé de :

Pr. BELGHAR Noureddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Pr. ZEMMOURI Noureddine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Dr. AHRIZ Atef	M. C. A	Examineur	Université de Tébessa
Dr. ASSASSI Abdelhalim	M. C. A	Examineur	Université de Batna

*À mes Parents,
Fils et Femme
Frères et Sœurs
et Grande famille...*

Remerciements

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincu que la thèse de doctorat est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser dans mon apprentissage.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, le Pr. Noureddine Zemmouri, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de diriger cette recherche, pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'il a consacrées à diriger ce travail. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité dans les moments les plus difficiles, et ses engagements afin de surmonter les nombreux obstacles auxquels nous avons été confrontés. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela. Enfin, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de mon parcours de recherche.

Mes chaleureux remerciements vont également à Mr. Houda Saddok, pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour son aide à la bonne maîtrise des outils de travail, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de la présente recherche. Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes autrement qu'en leur promettant d'agir comme eux avec des étudiants dans ma situation, si un jour l'occasion m'en est donnée.

De même, je suis particulièrement reconnaissant à tous ceux sans qui cette recherche ne serait pas ce qu'elle est : aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions. Je pense ici en particulier à ma femme Houda, Dr. Amira Elnokaly et tout le staff de « Unit of built environment » de l'Université de Lincoln, Pr Compagnon de l'École d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg (pour les documents que vous m'avez envoyé).

J'associe à ces remerciements Pr. Belghar Noureddine, Dr. Ahriz Atef, et Dr. Assassi Abdelhalim pour avoir accepté d'examiner mon travail. Aussi, pour m'avoir fait l'honneur de participer au jury de soutenance.

ملخص

أضحت صناعة البناء والمنشآت المعمارية واحدة من أكبر مستهلكي الطاقة في البلدان النامية، وينبغي اعتبارها رقما مهما في مبادرات توفير الطاقة. تبني استراتيجية للطاقة الشمسية، خاصة في بيئات المعيشة الحضرية، يمكن أن يساعد بشكل كبير في تقليل مستويات الاستهلاك. تهدف هذه الرسالة إلى تحليل العلاقة بين الشكل الحضري وتوافر الطاقة الشمسية في المناخ شبه الجاف والظروف البيئية لمدينة باتنة (الجزائر). تقترح طريقة لإنشاء مورفولوجيا ثلاثية الأبعاد تلقائيًا تعتمد على برنامج 'غراس هوبر' ونظام محاكاة لتقييم عوائد الطاقة الشمسية. بداية، تم إجراء التحليلات المورفولوجية والشمسية لعشرة أشكال حضرية سكنية لمقارنة وتحديد أفضلها من خلال قياس أدائها الشمسي. تم تقييم أربعة مؤشرات للأداء الشمسي (1) مؤشر الطاقة الكهروضوئية المدمجة مع المباني (BIPVi)، (2) مؤشر لوحات الطاقة الشمسية الحرارية (ASCI)، (3) مؤشر الطاقة الشمسية السلبية للتدفئة (PSI_heating) و (4) مؤشر الطاقة الشمسية السلبية للتبريد (PSI_cooling). تم بعد ذلك تحديد تقنيات الطاقة الشمسية المناسبة لكل تكوين حضري تمت دراسته. أخيرًا، أتاحت الدراسة الإحصائية تحديد المعلمة المورفولوجية التي لها أكبر تأثير على توافر الطاقة الشمسية. أظهرت النتائج أن الواجهات أكثر حساسية للتغيرات الموسمية من الأسطح. بالإضافة إلى ذلك، يبدو أن المجمعات الحرارية الشمسية هي أكثر تقنيات الطاقة الشمسية كفاءة في البيئة شبه الجافة. كما أظهرت نتائج الدراسة الإحصائية أن متوسط ارتفاع المباني، ونسبة الحجم إلى المساحة، ونسبة المساحة الأرضية إلى مساحة الطوابق، هي المؤشرات التي أظهر ارتباطات خطية قوية مع مؤشرات الأداء الشمسي المحسوبة. تقدم هذه الوثيقة أيضًا خلفية نظرية حول العديد من الأدوات والتقنيات والأساليب والتوصيات المتعلقة بموضوع الدراسة.

الكلمات المفتاحية

تقييم عوائد الطاقة الشمسية؛ مؤشرات أداء الطاقة الشمسية؛ المورفولوجيا الحضرية؛ المباني السكنية؛ السكن الجماعي؛ لايدي باغ؛ الانحدار الخطي؛ مناخ شبه جاف؛ باتنة.

Résumé

L'industrie de la construction est devenue l'un des plus grands consommateurs d'énergie dans les pays en développement et devrait être considérée comme une cible importante pour la mise en œuvre d'initiatives d'économie d'énergie. Adopter une stratégie solaire, notamment dans les milieux de vie urbains, peut contribuer à réduire les niveaux de consommation. La présente thèse analyse la relation entre la forme urbaine et la disponibilité de l'énergie solaire sous un climat semi-aride et des conditions environnementales de la ville de Batna (Algérie). Elle propose une méthode de génération automatique de morphologie 3D basée sur Grasshopper et un système de simulation pour évaluer l'accès solaire. Tout d'abord, des analyses morphologique et solaire de dix formes urbaines résidentielles ont été menées pour comparer et déterminer les meilleures configurations en mesurant leur performance solaire. Quatre indicateurs de performance solaire ont été évalués (i) Indice du photovoltaïque intégré au bâtiment (BIPVi), (ii) Indice de collecteur solaire actif (ASCI), (iii) Indice solaire passif pour le chauffage (PSI_heating) et (vi) Indice solaire passif pour le refroidissement (PSI_cooling). Des technologies solaires appropriées sont ensuite définies pour chaque configuration urbaine étudiée dans ce contexte. Enfin, une enquête statistique a permis de déterminer quel paramètre morphologique avait le plus d'impact sur la disponibilité de l'énergie solaire. Les résultats ont montré que les façades sont plus sensibles aux changements saisonniers que les toits. De plus, dans le contexte étudié, les capteurs solaires thermiques apparaissent comme la technologie solaire la plus performante. Les résultats de l'analyse de corrélation et de régression ont montré que la hauteur moyenne du bâtiment, le volume area ratio, le floor area ratio présentaient de fortes corrélations linéaires avec les indicateurs de performance solaire calculés. Ce document présente également un contexte théorique sur les outils, techniques, méthodes et recommandations liés au sujet de recherche.

Mots clés

Évaluation de l'accès solaire ; Indicateurs de performance solaire ; Morphologie urbaine ; Bâtiments résidentiels ; Habitat collectif ; Ladybug ; Régression linéaire ; Climat semi-aride ; Batna.

Abstract

The construction industry has become one of the largest energy consumers in developing countries. It should be considered an essential target for energy-saving initiatives. Adopting a solar strategy, especially in urban living environments, can help reduce consumption levels. This thesis analyzes the relationship between the urban form and the availability of solar energy under a semi-arid climate and environmental conditions of the city of Batna (Algeria). It proposes an automatic 3D morphology generation method based on Grasshopper and a simulation system to assess solar access. First, morphological and solar analyzes of ten residential urban forms were adapted to compare and determine the best configurations according to their solar performance. Four solar performance indicators were assessed in this research (i) Building Integrated Photovoltaic Index (BIPVi), (ii) Active Solar Collector Index (ASCI), (iii) Passive Solar Index for Heating (PSI_heating), and (vi) Passive Solar Index for Cooling (PSI_cooling). Considered solar technologies are then defined for each urban configuration studied in this context. Finally, a statistical analysis made it possible to determine which morphological parameter had the most significant impact on the availability of solar energy. The results showed that facades are more sensitive to seasonal changes than roofs. Moreover, the average building height, volume area ratio, and floor area ratio exhibited solid linear correlations with the calculated solar performance indicators. Moreover, solar thermal collectors appear to be the most efficient solar technology in the considered context. This document also presents various theories, tools, techniques, methods, and related recommendations.

Keywords

Solar access assessment; Solar performance index; urban morphology; Residential building; collective housing; Ladybug; Linear regression; Semi-arid climate; Batna.

Table des matières

Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé	III
Sommaire.....	IV
Nomenclature.....	XI
Liste de tableaux.....	XII
Liste de figures	XIV

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE	2
Contexte général et problématique de l'énergie dans le bâtiment	2
Objectifs de recherche.....	5
Jeux d'hypothèse	7
Approche méthodologique	8

CHAPITRE 01 : L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE COMME OUTIL D'AIDE A LA REDACTION DE REVUE DE LITTERATURE

I. INTRODUCTION.....	11
II. CONSTRUIRE UN BACKGROUND CONCEPTUEL	12
II.1. L'infométrie.....	12
II.2. La scientométrie	13
II.3. La bibliométrie.....	13
III. LES INDICATEURS BIBLIOMETRIQUES	15
III.1. Indicateurs d'impact d'un article.....	16
III.1.1. Nombre de citations	16
III.1.2. Altmetrics	17
III.2. Indicateurs d'impact d'une revue	17
III.2.1. Impact Factor (IF).....	17
III.2.2. EigenFactor (EF)	17
III.2.3. Article Influence (AI)	18
III.2.4. Scimago Journal Rank (SJR)	18
III.2.5. Source Normalized Impact per Paper	18
III.2.6. Impact per Publication	18
III.3. Indicateurs d'impact d'un chercheur ou d'un groupe de chercheurs	19
III.3.1. Le h-index.....	19
III.3.2. Le g-index	19
IV. SOURCES DOCUMENTAIRES.....	19
V. L'EVALUATION BIBLIOMETRIQUE	21
V.1. Analyse de citations.....	21
V.2. Analyse de cooccurrence.....	22
V.3. Analyse des mots clés.....	22
V.4. Couplage bibliographique	22
V.5. Cartographie bibliométrique	23
VI. OUTILS ET LOGICIELS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE	23
VII. CONCLUSION	25

CHAPITRE 02 : ANALYSE BIBLIOMETRIQUE DES APPROCHES ET METHODES POUR L'EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE DANS L'ENVIRONNEMENT URBAIN

I.	INTRODUCTION.....	27
II.	PROCESSUS METHODOLOGIQUE.....	28
II.1.	Collection de données.....	28
II.2.	Filtration de données.....	29
II.3.	Analyse des données.....	30
III.	RESULTATS.....	31
III.1.	Aperçu sur les publications sélectionnées.....	31
III.2.	Analyse bibliométrique des mots-clés.....	31
III.3.	Analyse bibliométrique des méthodes et des outils.....	34
III.4.	Analyse bibliométrique des auteurs et co-auteurs.....	35
III.5.	Tendance et répartition spatiale des publications.....	38
IV.	SYNTHESE DES RESULTATS ET DISCUSSION.....	40
IV.1.	Outils et méthodes de l'évaluation du potentiel solaire des bâtiments au milieu urbains.....	40
IV.1.1.	Les méthodes basées sur des cartes d'irradiation.....	42
IV.1.1.1.	Les systèmes d'information géographique (SIG).....	42
IV.1.1.2.	Données géographiques du bâtiment et images aériennes.....	43
IV.1.1.3.	Google Street View.....	44
IV.1.2.	Les méthodes basées sur l'analyse de la géométrie solaire et les cartes d'ombre.....	45
IV.1.3.	Les méthodes de quantification énergétique sur une géométrie 3D.....	46
IV.1.4.	Techniques de traitement d'images.....	48
IV.2.	Les paramètres d'évaluation du potentiel solaire dans l'environnement urbain.....	49
V.	CONCLUSION.....	50

CHAPITRE 03 : ANALYSE BIBLIOMETRIQUE DES PARAMETRES DE LA FORME URBAINE ET LE GISEMENT SOLAIRE

I.	INTRODUCTION.....	53
II.	PROCESSUS METHODOLOGIQUE.....	54
II.1.	Collection de données.....	54
II.2.	Filtration de données.....	55
II.3.	Analyse des données.....	56
III.	RESULTATS.....	56
III.1.	Aperçu sur les publications sélectionnées.....	56
III.2.	Analyse bibliométrique des mots-clés.....	57
III.3.	Analyse bibliométrique des paramètres de la forme urbaine étudiés.....	60
III.4.	Analyse bibliométrique des auteurs et co-auteurs.....	61
III.5.	Tendance et répartition spatiale des publications.....	64
IV.	SYNTHESE DES RESULTATS ET DISCUSSION.....	67
IV.1.	Préambule.....	67
IV.2.	Etat de l'art des recherches les plus influençant.....	68
V.	CONCLUSION.....	76

CHAPITRE 04 : PRESENTATION DU SITE ET MODELISATION NUMERIQUE DU CORPUS D'ETUDE

I.	INTRODUCTION	79
II.	MOTIVATION ET CRITERE DE CHOIX DE LA VILLE	80
II.1.	Choix de la ville	80
II.1.1.	Le potentiel solaire en Algérie	81
II.1.2.	Le climat en Algérie	84
III.	PRESENTATION DE LA VILLE DE BATNA.....	88
III.1.	Situation géographique.....	88
III.2.	Population de la wilaya et de la commune	89
III.3.	Contexte et spécificités climatiques.....	89
III.4.	Contexte environnemental et durabilité	91
III.4.1.	Consommation énergétique.....	91
III.4.2.	Emissions de gaz à effet de serre	93
IV.	QUARTIERS ET SECTEURS URBAINS DE LA VILLE	94
V.	LES BATIMENTS RESIDENTIELS COLLECTIFS A BATNA	96
VI.	RECUEIL DE DONNEES ET SELECTION D'ECHANTILLONS REPRESENTATIFS	97
VI.1.	Collecte et analyse des données	98
VI.2.	Échelle typologique.....	99
VI.3.	Echantillonnage.....	100
VII.	MODELISATION NUMERIQUE 3D DU CORPUS D'ETUDE.....	101
VII.1.	Modélisation de terrain.....	102
VII.2.	Modélisation de façades et de toitures de bâtiments.....	103
VIII.	CONCLUSION	104

CHAPITRE 05 : ELABORATION D'UN MODELE D'ANALYSE

I.	INTRODUCTION	107
II.	ELABORATION D'UN MODEL D'ANALYSE.....	108
II.1.	Analyse morphologique	109
II.1.1.	La forme de bâtiments	109
II.1.2.	La hauteur moyenne.....	109
II.1.3.	L'orientation.....	109
II.1.4.	Volume area ratio	109
II.1.5.	Plot ratio	109
II.1.6.	Floor area ratio	109
II.1.7.	Couverture de site	109
II.1.8.	Densité.....	110
II.1.9.	Distance du centre-ville	110
II.2.	Analyse de la disponibilité solaire.....	111
II.2.1.	Calcul des apports solaires annuels et saisonniers	114
II.2.2.	Calcul de la viabilité solaire	115
II.2.3.	Calcul de seuils des technologies solaires.....	116
II.2.3.1.	Seuil de la technique solaire passive pour refroidissement.....	116
II.2.3.2.	Seuil de la technique solaire passive pour chauffage.....	117
II.2.3.3.	Seuil de la technique solaire active	117
II.2.3.4.	Seuil de la technique solaire photovoltaïque.....	118
II.2.4.	Calcul des indices de performance solaire.....	118
II.2.4.1.	Indice solaire passif pour le refroidissement	119
II.2.4.2.	Indice solaire passif pour le chauffage.....	119
II.2.4.3.	Indice de collecteur solaire actif.....	119
II.2.4.4.	Indice du photovoltaïque intégré au bâtiment.....	120
II.3.	Analyse statistique	120
III.	CONCLUSION	121

CHAPITRE 06 : RESULTATS DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE

I. INTRODUCTION.....	123
II. RESULTAT DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE.....	124
II.1. Forme de bâtiments.....	124
II.2. Orientation.....	127
II.3. La hauteur moyenne des bâtiments	129
II.4. Le Plot ratio.....	130
II.5. Le Floor-area-ratio	130
II.6. La couverture de site	131
II.7. Le Volume-area-ratio	132
II.8. Densité et distance du centre-ville	133
III. CONCLUSION.....	135

CHAPITRE 07 : L'EVALUATION DU POTENTIEL SOLAIRE DE CORPUS D'ETUDE

I. INTRODUCTION.....	137
II. RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA DISPONIBILITE SOLAIRE	138
II.1. Répartition spatiale des apports solaires annuels et variations saisonnières.....	138
II.1.1. Répartition spatiale des apports solaires annuels.....	138
II.1.2. Répartition spatiale des apports solaires saisonniers	140
III. RESULTATS DE LA VIABILITE SOLAIRE.....	144
IV. DEFINITION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ET COMPARAISON ENTRE LES MODELES ETUDIES	145
V. SIGNIFICATION DE RESULTATS.....	148
VI. CONCLUSION.....	150

CHAPITRE 08 : RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES ET LE POTENTIEL SOLAIRE

I. INTRODUCTION.....	153
II. MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE PASSIFS	154
II.1. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating 154	
II.2. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating	155
II.3. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling 158	
II.4. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling.....	158
III. MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ACTIFS.....	161
III.1. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi	161
III.2. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi.....	162
III.3. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi.....	165
III.4. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi 165	
IV. ENTROPIE DES ORIENTATIONS DES FAÇADES	169
V. CONCLUSION.....	170

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE	172
Limites de recherche	176
Perspectives de développement.....	177

Références bibliographiques

Nomenclature

Symbol	Désignation
BIPVi	Building Integrated Photovoltaic Index (Indicateur de performance solaire photovoltaïque)
ASCI	Active Solar Collector index (Indicateur de performance solaire de collecteur thermique)
PSI heating	Passive Solar Index for Heating (Indicateur de performance solaire de chauffage passif)
PSI cooling	Passive Solar Index for Cooling (Indicateur de performance solaire de refroidissement)
APVsolar	Surface de l'enveloppe recevant la valeur seuil d'irradiation solaire pour la technologie photovoltaïque
ATHsolar	Surface de l'enveloppe recevant la valeur seuil d'irradiation solaire pour la technologie de collecteur thermique
APSheating	Surface de l'enveloppe recevant la valeur seuil d'irradiation solaire pour le chauffage passif
APScooling	Surface de l'enveloppe recevant la valeur seuil d'irradiation solaire pour le refroidissement passif
PNDEREE	Le Programme National De Développement Des Energies Renouvelable Et De L'efficacité Énergétique
PNR	Programme National de Recherche
SONELGAZ	Société Nationale d'Electricité et de Gaz
CES-MED	The Cleaner and Energy Saving Mediterranean Cities project
SEAP	Sustainable Energy Action Plan (Plan d'action de l'énergie renouvelable)
PDAU	Plan Directeur d'Architecture et d'Urbanisme
POS	Plan d'Occupation des Sols
DUC	Direction de l'Urbanisme et de la Construction
AADL	Agence nationale de l'Amélioration et du développement du logement

Liste de tableaux

Chapitre 01

TABLEAU 1. PRESENTATION DES OUTILS DE L'ANALYSE DE BASE DE DONNEES. SOURCE : (AUTEUR).....	20
TABLEAU 2. PRESENTATION DES OUTILS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE. SOURCE (AUTEUR).....	24

Chapitre 02

TABLEAU 1. TOP 10 DES AUTEURS LES PLUS PRODUCTIFS DANS LE THEME. SOURCE : (AUTEUR).....	36
TABLEAU 2. LES OUTILS ET/OU METHODES D'EVALUATION UTILISEES DANS LES QUINZE ARTICLES LES PLUS CITES. SOURCE : (AUTEUR).	41

Chapitre 03

TABLEAU 1. TOP 10 DES AUTEURS LES PLUS PRODUCTIFS DANS LE SUJET. SOURCE : (AUTEUR).....	62
TABLEAU 2. LES PARAMETRES DE LA FORME URBAINE ETUDIES DANS LES DIX PUBLICATIONS LES PLUS CITES. SOURCE : (AUTEUR).	68
TABLEAU 3. DESCRIPTEURS DE LA MORPHOLOGIE URBAINE UTILISES POUR PREDIRE L'IRRADIATION SOLAIRE DES TOITS ET DES FAÇADES. SOURCE : (SARRALDE ET AL., 2015)	69
TABLEAU 4. LES PARAMETRES GEOMETRIQUES CALCULES POUR LES TRENTE CAS DE BLOCS URBAINS GENERIQUES. SOURCE : (ZHANG ET AL., 2019).....	71
TABLEAU 5. PRINCIPAUX FACTEURS DE FORME URBAINE CONSIDERES. SOURCE : (MARTINS ET AL., 2016).	73
TABLEAU 6. LES VARIABLES DEPENDANTES ET LES VARIABLES INDEPENDANTES DE L'ANALYSE STATISTIQUE. SOURCE : (LEE ET AL., 2016).	76

Chapitre 04

TABLEAU 1. ESTIMATION DE L'IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE SUR LE TERRITOIRE NATIONAL MESUREE SUR 11 ANNEES (1992-2002). SOURCE : (YAICHE & BOUHANIK, 2002).....	83
TABLEAU 2. RECAPITULATIF DES ZONES CLIMATIQUES EN ALGERIE SELON BOREL. SOURCE : (A. SAMI ET AL, 2000, P. 28). READAPTE PAR L'AUTEUR.	85
TABLEAU 3. ESTIMATIONS DEMOGRAPHIQUES DE LA VILLE DE BATNA (2008-2022). SOURCE : (ONS, 2008)	89
TABLEAU 4. CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LES LOGEMENTS A BATNA (EN GWH/AN). (MUNICIPALITY OF BATNA, 2015)	96
TABLEAU 5. LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS LES LOGEMENTS A BATNA (EN KTECO2/AN). SOURCE :MUNICIPALITY OF BATNA, 2015).....	97

Chapitre 05

TABLEAU 1. LISTE DE PARAMETRES ET MORPHOLOGIQUES UTILISES DANS LA PRESENTE THESE ET LEUR FORMULES ASSOCIEES	110
TABLEAU 2. REGLAGE DES PARAMETRES POUR LA SIMULATION D'ENERGIE SOLAIRE VIA LADYBUG.	114
TABLEAU 3. RECAPITULATIF DES VALEURS DE SEUILS PROPOSEES	118

Chapitre 06

TABLEAU 1. STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES FORMES URBAINES ETUDIEES.	124
TABLEAU 2. CLASSIFICATION TYPOLOGIQUE ET REPRESENTATION BIDIMENSIONNELLE ET TRIDIMENSIONNELLE DE L'ECHANTILLON D'ETUDE.	125
TABLEAU 3. ROSE D'ORIENTATION DES FAÇADES DES 10 MODELES ETUDIES.	128

Chapitre 07

TABLEAU 1. LES RESULTATS NUMERIQUES DES IRRADIATIONS SOLAIRES ANNUELLES CALCULEES SUR LES 10 MODELES ETUDIES.	138
TABLEAU 2. RESULTATS GRAPHIQUES DE DISTRIBUTION DES IRRADIATIONS SOLAIRES ANNUELLES DES 10 MODELES ETUDIES	139
TABLEAU 3. LES RESULTATS NUMERIQUES DES IRRADIATIONS SOLAIRES SAISONNIERS CALCULEES SUR LES 10 MODELES ETUDIES	141

Chapitre 08

TABLEAU 1. LES VALEURS DE CORRELATION DE PEARSON CALCULEES ENTRE LE PSI_HEATING ET LES PARAMETRES DE LA MORPHOLOGIE URBAINE.	154
TABLEAU 2. LES VALEURS DE CORRELATION DE PEARSON CALCULEES ENTRE LE PSI_COOLING ET LES PARAMETRES DE LA MORPHOLOGIE URBAINE.	158
TABLEAU 3. LES VALEURS DE CORRELATION DE PEARSON CALCULEES ENTRE LE ASCI ET LES PARAMETRES DE LA MORPHOLOGIE URBAINE.	161
TABLEAU 4. LES VALEURS DE CORRELATION DE PEARSON CALCULEES ENTRE LE BIPVI ET LES PARAMETRES DE LA MORPHOLOGIE URBAINE.	165

Liste de figures

Chapitre 01

FIGURE 1. IMPACT DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. SOURCE : (BIBLIOTHEQUE DE L'UNIVERSITE LAVAL, 2022)	14
FIGURE 2. CLASSIFICATION EN QUATRE GRANDES FAMILLES DES INDICATEURS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE. SOURCE : (BORDEAUX, 2021 ; READAPTE PAR L'AUTEUR).	15
FIGURE 3. CLASSIFICATION DES INDICATEURS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE SELON LES IMPACTS D'ARTICLE, DE REVUE ET DE CHERCHEURS. SOURCE : (AUTEUR).....	16

Chapitre 02

FIGURE 1. PROCESSUS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE. SOURCE : (AUTEUR).	28
FIGURE 2. LES MOTS CLES APPLIQUEES DANS LA RECHERCHE DE CORPUS D'ETUDE. SOURCE : (AUTEUR).....	29
FIGURE 3. TOP 9 DES REVUES SUR LE SUJET SELON LE NOMBRE DE PUBLICATIONS (A) ET LE NOMBRE DE CITATIONS (B). SOURCE : (AUTEUR).	31
FIGURE 4. LA COMPOSITION DES MOTS-CLES (TOUS LES MOTS CLES). SOURCE : (AUTEUR).....	33
FIGURE 5. LA COMPOSITION DES MOTS-CLES (LES MOTS CLES DES AUTEURS). SOURCE : (AUTEUR).	33
FIGURE 6. METHODES ET OUTILS D'EVALUATION PAR NOMBRE DE PUBLICATIONS. SOURCE : (AUTEUR).....	34
FIGURE 7. CARTE DE LA DENSITE D'USAGE DES METHODES ET OUTILS D'EVALUATION. SOURCE : (AUTEUR).....	35
FIGURE 8. LE RESEAU DES AUTEURS PAR PUBLICATION. SOURCE : (AUTEUR).	36
FIGURE 9. LE RESEAU DE CO-AUTEURS PAR CITATIONS. SOURCE : (AUTEUR).	37
FIGURE 10. DENSITE DU RESEAU DE CO-AUTEURS PAR CITATIONS. SOURCE : (AUTEUR).	37
FIGURE 11. NOMBRE DE PUBLICATIONS PAR ANNEE DE PUBLICATION. SOURCE : (AUTEUR).	38
FIGURE 12. REPARTITION SPATIALE (PAR PAYS) DE PUBLICATION. SOURCE : (AUTEUR).	39
FIGURE 13. COLLABORATION ENTRE CO-AUTEUR PAR PAYS D'APPARTENANCE. SOURCE : (AUTEUR).....	40
FIGURE 14. (A) DISTRIBUTION DES REPONSES POUR LA QUESTION : IDENTIFIER A QUELLE ETAPE DE CONCEPTION VOUS UTILISEZ LES PROGRAMMES INFORMATIQUES LISTES. (B) LES OUTILS UTILISES DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION. SOURCE : (KANTERS ET AL., 2014B)	49

Chapitre 03

FIGURE 1. LES PROBABILITES DE COMBINAISON DES TERMES DE RECHERCHE. SOURCE: (AUTEUR).....	55
FIGURE 2. TOP 10 DES REVUES PUBLIANT LE SUJET (A) PAR NOMBRE DE PUBLICATIONS, (B) PAR NOMBRE DE CITATIONS. SOURCE: (AUTEUR).	57
FIGURE 3. ANALYSE BIBLIOMETRIQUE PAR MOTS CLES (TOUS LES MOTS CLES). SOURCE : (AUTEUR).	59
FIGURE 4. ANALYSE BIBLIOMETRIQUE PAR MOTS CLES (MOTS CLES D'AUTEURS). SOURCE : (AUTEUR).	59
FIGURE 5. ANALYSE BIBLIOMETRIQUE DES PARAMETRES URBAINS INFLUANT LES GAINS SOLAIRES. SOURCE : (AUTEUR).61	
FIGURE 6. LE RESEAU DES AUTEURS PAR NOMBRE DE PUBLICATIONS. SOURCE : (AUTEUR).	62
FIGURE 7. LE RESEAU DE CO-AUTEURS PAR NOMBRE DE CITATIONS. SOURCE : (AUTEUR).	63
FIGURE 8. DENSITE DU RESEAU DE CO-AUTEURS PAR NOMBRE DE CITATIONS. SOURCE : (AUTEUR).	63
FIGURE 9. NOMBRE DE PUBLICATIONS PAR ANNEE DE PUBLICATION. SOURCE : (AUTEUR)	65
FIGURE 10. REPARTITION SPATIALE (PAR PAYS) DE PUBLICATION. SOURCE : (AUTEUR).	66
FIGURE 11. COLLABORATION ENTRE CO-AUTEURS PAR PAYS D'APPARTENANCE. SOURCE : (AUTEUR).	66
FIGURE 12. ANALYSE BIBLIOMETRIQUE DES PUBLICATIONS SUR LE SUJET PAR NOMBRE DE CITATIONS. SOURCE:(AUTEUR).	68
FIGURE 13. PRESENTATION SCHEMATIQUE DES DIFFERENTS INDICATEURS DE COMPACITE URBAINE ETUDIES : (A) VOLUME/AREA RATIO, (B) SITE COVERAGE, (C) PLOT RATIO, AND (D) BUILDING DENSITY, (E) POPULATION DENSITY, (F) NEAREST-NEIGHBOUR RATIO. SOURCE : (MOHAJERI ET AL., 2016).....	70
FIGURE 14. LES TRENTE BLOCS URBAINS GENERIQUES ETUDIES REPARTIES SUR SIX CATEGORIES DE TYPOLOGIE DE BLOCK URBAINS. SOURCE : (ZHANG ET AL., 2019).	71

Chapitre 04

FIGURE 1. LES CRITERES DE CHOIX DE VILLE. SOURCE (AUTEUR).....	80
FIGURE 2. CARTE DU MONDE DE L'INSOLATION SOLAIRE. SOURCE : (ABADA & BOUHARKAT, 2018).....	82
FIGURE 3. (À GAUCHE) MOYENNE ANNUELLE DE L'IRRADIATION GLOBALE REÇUE SUR UNE SURFACE HORIZONTALE, (A DROITE) MOYENNE ANNUELLE DE L'IRRADIATION GLOBALE INCLINEE VERTICALE SUD. CAS D'UN CIEL TOTALEMENT CLAIR. SOURCE : (YAICHE & BOUHANIK, 2002).....	82
FIGURE 4. (À GAUCHE) MOYENNE ANNUELLE DE L'IRRADIATION GLOBALE INCLINEE VERTICALE EST ET OUEST, (A DROITE) MOYENNE ANNUELLE DE L'IRRADIATION GLOBALE INCLINEE VERTICALE SUD-EST ET SUD-OUEST. CAS D'UN CIEL TOTALEMENT CLAIR. SOURCE : (YAICHE & BOUHANIK, 2002).....	82
FIGURE 5. CARTE DE CLIMAT DE L'ALGERIE SELON LA CLASSIFICATION DE KOPPEN-GEIGER. SOURCE : (WIKIPEDIA, ND).....	84
FIGURE 6. CARTE DE CLIMAT DE L'ALGERIE SELON LA CLASSIFICATION DE CNERIB. SOURCE : (LE MINISTERE DE L'HABITAT, 1993).	87
FIGURE 7. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE BATNA. SOURCE : (OPENSTREETMAP, ND).....	88
FIGURE 8. PRECIPITATIONS DANS LA VILLE DE BATNA. SOURCE : (METEONORM, 2020)	90
FIGURE 9. TEMPERATURE MENSUELLE DANS LA VILLE DE BATNA. SOURCE : (METEONORM, 2020)	90
FIGURE 10. LES RADIATIONS SOLAIRES ANNUELLES DIRECTES, DIFFUSES, ET GLOBALES DANS LA VILLE DE BATNA. SOURCE(AUTEUR)	91
FIGURE 11. CONSOMMATION D'ENERGIE EN (GWH/AN) PAR SECTEUR A BATNA (2014). SOURCE : (MUNICIPALITY OF BATNA, 2015)	92
FIGURE 12. CONSOMMATION D'ENERGIE EN (GWH/AN) A BATNA PAR TYPE D'ENERGIE (2014). SOURCE : (MUNICIPALITY OF BATNA, 2015)	92
FIGURE 13. EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE A BATNA (2014) EN (KTEQCO2/AN). SOURCE : (MUNICIPALITY OF BATNA, 2015)	94
FIGURE 14. LES EMISSIONS DE GES A BATNA PAR TYPE D'ENERGIE (2014) EN (KTEQCO2/AN). SOURCE : (MUNICIPALITY OF BATNA, 2015).....	94
FIGURE 15. QUARTIERS ET SECTEURS DE LA VILLE DE BATNA. SOURCE : (BOUTRID & KALLA, 2015)	96
FIGURE 16. QUARTIERS ET SECTEURS RESIDENTIELS COLLECTIFS DE LA VILLE DE BATNA. SOURCE : (AUTEUR.	97
FIGURE 17. LES SOURCES D'INFORMATIONS UTILISEES POUR COLLECTER LES DONNEES D'INFORMATION 2D DES QUARTIERS ETUDIES. SOURCE : (AUTEUR).	99
FIGURE 18. PROCESSUS DE FILTRAGE MULTIPLE POUR LA SELECTION DU CORPUS D'ETUDE. SOURCE : (AUTEUR).	101
FIGURE 19. LES ZONES ETUDIEES SUR LA CARTE DE BATNA. SOURCE : (AUTEUR).	101
FIGURE 20. PROCESSUS DE MODELISATION 3D DU MODEL M6. SOURCE : (AUTEUR).....	102
FIGURE 21. PROCESSUS DE MODELISATION DE LA TOPOGRAPHIE DE TERRAIN. SOURCE : (AUTEUR).	103
FIGURE 22. PROCESSUS PERMETTANT DE CONSTRUIRE DES MODELES NUMERIQUES 3D, UTILISANT GRASSHOPPER-LADYBUG. SOURCE : (AUTEUR).	104

Chapitre 05

FIGURE 1. PROCESSUS METHODOLOGIQUE. SOURCE : (AUTEUR).....	108
FIGURE 2. PROCESSUS PERMETTANT DE CALCULER DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES ET EFFECTUER DES SIMULATIONS SOLAIRES UTILISANT GRASSHOPPER-LADYBUG. SOURCE : (AUTEUR).	108
FIGURE 3. PROCESSUS DE L'ANALYSE SOLAIRE.....	113
FIGURE 4. PROCESSUS DE CALCUL DE VIABILITE SOLAIRE UTILISANT GRASSHOPPER-LADYBUG	115

Chapitre 06

FIGURE 1. LA HAUTEUR MOYENNE CALCULEE POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.....	129
FIGURE 2. LES VALEURS DE PLOT RATIO CALCULEES POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.	130
FIGURE 3. LES VALEURS DE FLOOR-AREA-RATIO CALCULEES POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.	131
FIGURE 4. LES VALEURS DE COUVERTURE DE SITE CALCULEES POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.	132
FIGURE 5. LES VALEURS DE VOLUME-AREA-RATIO CALCULEES POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.....	133
FIGURE 6. LES VALEURS DE DENSITE ET DE DISTANCE DU CENTRE-VILLE CALCULEES POUR LES BATIMENTS DES MODELES ETUDIES.	134

Chapitre 07

FIGURE 1. MODELES DE DISTRIBUTION SELON LES INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE PAR TYPOLOGIE DE BLOC URBAIN. (A) PSI_CHAUFFAGE, (B) PSI_REFROIDISSEMENT , (C) BIPVI ET (D) ASCI.	147
--	-----

Chapitre 08

FIGURE 1. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LA HAUTEUR MOYENNE.....	155
FIGURE 2. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LE FLOOR AREA RATIO.....	156
FIGURE 3. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LE PLOT RATIO.....	156
FIGURE 4. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LA COUVERTURE DE SITE.....	156
FIGURE 5. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LE VOLUME AREA RATIO.....	157
FIGURE 6. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LA DENSITE BATIE.....	157
FIGURE 7. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_HEATING ET LA DISTANCE DU CENTRE-VILLE.....	157
FIGURE 8. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LA HAUTEUR MOYENNE.....	159
FIGURE 9. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LE FLOOR AREA RATIO.....	159
FIGURE 10. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LE PLOT RATIO.....	159
FIGURE 11. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LA COUVERTURE DE SITE.....	160
FIGURE 12. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LE VOLUME AREA RATIO.....	160
FIGURE 13. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LA DENSITE BATIE.....	160
FIGURE 14. REGRESSION LINEAIRE DE PSI_COOLING ET LA DISTANCE DU CENTRE-VILLE.....	161
FIGURE 15. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LA HAUTEUR MOYENNE.....	162
FIGURE 16. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LE FLOOR AREA RATIO.....	163
FIGURE 17. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LE PLOT RATIO.....	163
FIGURE 18. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LA COUVERTURE DE SITE.....	163
FIGURE 19. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LE VOLUME AREA RATIO.....	164
FIGURE 20. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LA DENSITE BATIE.....	164
FIGURE 21. REGRESSION LINEAIRE DE ASCI ET LA DISTANCE DU CENTRE-VILLE.....	164
FIGURE 22. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LA HAUTEUR MOYENNE.....	166
FIGURE 23. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LE FLOOR AREA RATIO.....	167
FIGURE 24. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LE PLOT RATIO.....	167
FIGURE 25. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LA COUVERTURE DE SITE.....	167
FIGURE 26. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LE VOLUME AREA RATIO.....	168
FIGURE 27. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LA DENSITE BATIE.....	168
FIGURE 28. REGRESSION LINEAIRE DE BIPVI ET LA DISTANCE DU CENTRE-VILLE.....	168
FIGURE 29. LA RELATION ENTRE L'ENTROPIE DU TISSU URBAIN FORME LES ORIENTATIONS DES FAÇADES ET L'IRRADIATION SOLAIRE ANNUELLE REÇUE SUR LES FAÇADES.	169

INTRODUCTION

GENERALE

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	2
Contexte général et problématique de l'énergie dans le bâtiment.....	2
Objectifs de recherche.....	5
Jeux d'hypothèse.....	7
Approche méthodologique	7

INTRODUCTION GENERALE

Contexte général et problématique de l'énergie dans le bâtiment

L'avenir de la population mondiale est urbain et l'urbanisation devrait se poursuivre pendant des décennies. Selon les estimations de département des affaires économiques et sociales des nations unies, le taux annuel moyen de croissance de la population urbaine entre 2030 et 2050 devrait être de 1,28 % (United Nations, 2018). Les zones urbaines devraient absorber la quasi-totalité de la croissance future de la population mondiale. À l'inverse, la croissance de la population rurale a nettement ralenti. La taille de la population rurale devrait culminer en 2050, à moins de 3.1 milliards, puis amorcer un lent déclin, un chiffre inférieur à ce qu'il était au début des années 1990 (United Nations, 2019).

Dans le contexte Algérien, la vitesse de processus d'urbanisation s'accélère. 70% du parc bâti est urbain, et le taux devrait atteindre les 85% en 2050 (APRUE, 2017; The world bank, n.d.). Paradoxalement, le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire est réduit en milieu urbain en raison d'obstacles vers le ciel et le soleil. Par conséquent, il est important que la disponibilité spatiale d'énergie solaire soit étudiée afin d'identifier des stratégies d'utilisation appropriée.

Les villes comptent pour 78 % de la consommation énergétique mondiale et produisent plus de 60 % des émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, elles représentent moins de 2 % de la surface de la Terre (Soave, 2022). Les besoins énergétiques continueront de croître rapidement et les questions de disponibilité et de coût des combustibles fossiles seront problématiques. Actuellement, la demande énergétique continuera d'augmenter rapidement, et l'offre et le coût des combustibles fossiles seront une source de préoccupation dans ces domaines (United Nations, 2018). La croissance rapide des villes, si elle n'est pas maîtrisée efficacement, peut être à l'origine de l'explosion de la demande énergétique.

Réduire les émissions et mettre la ville à l'avant-garde de la réduction des consommations d'énergie est devenu une exigence (DGALN/PUCA, 2010; Elnokaly & Thomas, 2019; Natanian & Wortmann, 2021). Accroître la prise de conscience du potentiel de transformation de l'urbanisation durable est essentiel à la localisation des objectifs de développement durable. L'une des stratégies efficaces consiste à transformer les villes de

‘consommatrices d’énergie’ en ‘productrices d’énergie’, principalement grâce à l’énergie solaire (Bruun Jørgensen et al., 2018; Mohammed et al., 2021).

L’amélioration du niveau de vie des citoyens, et l’augmentation des services et de l’achèvement de plusieurs projets d’infrastructures de services publics sont des raisons essentielles de la croissance accrue qu’a connu la consommation d’énergie. Dans les climats arides et semi-arides, l’utilisation continue des systèmes de climatisation (HVAC) a augmenté la demande d’énergie et dégage la chaleur polluée anthropique, créant une grave crise urbaine environnementale (Elnokaly et al., 2019).

La crise du Covid-19 a causé plus de perturbations que tout autre événement de l’histoire récente (Juliette; Raynal, 2020). Les mesures de confinement prises dans le cadre de la pandémie ont également eu un impact sur la consommation d’énergie. Bien que la consommation globale d’électricité ait diminué, la consommation des ménages a augmenté (Surahman et al., 2022; Todeschi et al., 2022). La présence constante des personnes à leur domicile et la mise en place du travail à distance font que la consommation d’électricité des ménages va augmenter. Ceci est le résultat de plusieurs facteurs : La hausse des besoins de chauffage du fait de l’occupation continue des logements, l’utilisation accrue des appareils de cuisson (en particulier à midi), et recours aux ordinateurs pour les connexions de télécommunications.

Selon le bilan énergétique national, la consommation finale d’énergie atteint 519 millions de MWh, dont 43 % sont utilisés par le secteur résidentiel et tertiaire (APRUE, 2017). La consommation d’électricité dans le secteur résidentiel a été évaluée à 135 millions de MWh, soit plus de 43 % de la consommation nationale totale d’électricité (APRUE, 2019a). La réduction de la consommation d’énergie dans les bâtiments est le principal défi auquel sont confrontés les acteurs urbains.

Les perspectives de développement du parc immobilier résidentiel engendreront un accroissement certain de la consommation d’énergie. L’enjeu économique est de taille, et de ce fait la maîtrise de la consommation énergétique dans le bâtiment devient primordiale et constitue un défi pour les prochaines décennies (APRUE, 2019b). Par ailleurs, avec son climat aride et semi-aride, l’Algérie est très vulnérable aux changements climatiques. En effet, on assiste à des étés caniculaires et des hivers très rudes, d’où la nécessité de réduire la consommation ménagère. Deux solutions peuvent être utilisées pour faire face à ce problème. La première consiste à limiter les transferts thermiques des parois extérieures des

maisons et appartements pour réduire les consommations de chauffage et de rafraîchissement. La deuxième réside dans le recours vers les technologies de conversion énergétique renouvelable, notamment l'énergie solaire, puisqu'elle présente une réponse directe.

L'Algérie dispose d'un potentiel solaire énorme en raison de sa situation géographique et de sa superficie privilégiée. La durée moyenne d'ensoleillement en Algérie dépasse 2 000 heures par an, atteignant près de 3 500 heures dans le désert du Sahara (Abada & Bouharkat, 2018). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale est de (5 KWh/m²) sur la majeure partie du territoire national, soit près de (1700KWh/m²/an) au nord et (2650 KWh/m²/an) au sud (Kharchi et al., 2019). En effet, des opportunités exceptionnelles se présentent au niveau de toutes les régions du pays pour exploiter le gigantesque gisement d'énergie solaire disponible. Ce potentiel unique pourrait être un atout pour une stratégie d'utilisation de l'énergie plus durable.

En raison de la disponibilité des surfaces de construction et de la maturité de la technologie solaire, cette dernière offre un grand potentiel de production d'énergie urbaine (Allegrini et al., 2015). Dans les climats arides et semi-arides, l'énergie solaire offre une grande variété d'applications. En plus de la lumière du soleil, l'énergie solaire peut également être convertie localement en chaleur et en électricité. Cependant, dans ces climats, la chaleur solaire captée par l'enveloppe du bâtiment crée également des conditions de confort thermique intérieur extrêmement indésirables pour les occupants, ce qui à son tour augmente la demande d'électricité pour refroidir l'espace.

De nombreuses recherches ont été lancées pour élargir la portée de cette ressource gratuite. Dans le domaine de l'architecture, les visions se sont tournées vers la création de nouvelles approches de conception dans lesquelles le soleil est un élément essentiel dès la phase de conception. En milieu urbain, il est encore plus nécessaire de rechercher une configuration urbaine qui puisse résoudre les problèmes de création d'un microclimat confortable avec la moindre consommation d'énergie (Mahaya, 2014). La précision de la conception du bâtiment vis à vis des rythmes solaires devient plus complexe lorsque l'on passe à l'échelle urbaine. Les bâtiments se masquent alors les uns les autres et réfléchissent une partie du rayonnement. Ainsi, la forme des bâtiments environnants et leur implantation dans un espace sont des paramètres implicites qui affectent la qualité des bâtiments construits dans des environnements denses (Thibaut, 2014).

Différents programmes nationaux et internationaux ont été élaborés pour mettre en œuvre l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur de bâtiments, tels que « Le Programme National de Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique à l'horizon 2030 (PNDEREE 2030) et le Programme National de Recherche (PNR) » (DGRSDT, 2021). L'un des principaux objectifs de ces programmes est d'intégrer progressivement des mesures d'efficacité énergétique et de réduire la consommation d'énergie de 9 %. De plus, il contribuera à diversifier les filières de production d'électricité. Le nouveau schéma national d'aménagement du territoire (SNAT 2030) proposé par le gouvernement algérien repose sur des principes directeurs forts qui encouragent les bonnes pratiques en matière d'urbanisme, de développement et d'utilisation des énergies renouvelables, d'efficacité énergétique et de protection de l'environnement.

Poser la question de l'ensoleillement dans les zones résidentielles urbaines nous fait réfléchir à la manière de capter l'ensoleillement à l'échelle urbaine ? Et comment éviter de projeter des ombres et des masques dans l'implantation des nouvelles constructions ? Répondre à ces questions peut nous permettre de découvrir les formes urbaines qui bénéficieront le plus de l'énergie solaire. Le thème abordé dans cette thèse concerne la relation entre la géométrie urbaine résidentielle et le rayonnement solaire en milieu semi-aride. Il vise à définir une configuration urbaine permettant d'améliorer les performances des principaux modes de captage direct du rayonnement solaire, qu'ils soient passifs ou actifs.

Objectifs de recherche

La présente thèse s'inscrit dans le contexte de la maîtrise de la ville algérienne contemporaine qui connaît des transformations majeures et une croissance très rapide. C'est une contribution prospective pour la conception et le réaménagement des quartiers résidentiels collectifs à partir d'une approche énergétique et environnementale, dans le contexte du climat semi-aride de la ville de Batna. Ce travail vise à identifier et quantifier l'impact des paramètres morphologiques urbains sur le potentiel énergétique solaire des zones résidentielles en Algérie. Ceci pour une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire en milieu urbain. Cela comprend les trois technologies solaires suivantes : le solaire thermique passive pour le chauffage et le refroidissement, le solaire thermique active et le solaire photovoltaïque, dans des sites urbains représentatifs du parc de logements collectifs en Algérie.

L'étude cherche à répondre à quatre objectifs principaux :

- 1. Evaluer du potentiel solaire disponible dans les quartiers étudiés. Autrement dit, quantifier les performances solaires globales que les cas d'études peuvent garantir et établir un bilan radiatif annuel et saisonnier.**

Plusieurs questions sont soulevées à propos de cet objectif :

- Quel est la méthode la plus efficace pour évaluer le potentiel solaire d'une forme urbaine ? et par quel moyen ?
- Peut-on acquérir des données quantitatives sur les gains solaires d'une enveloppe de bâtiments urbain durant une période donnée ?

- 2. Définir la technologie solaire appropriée pour chaque configuration.**

Cette tâche est également l'objet de plusieurs réflexions

- Peut-on traduire les données de disponibilité solaire à des indicateurs de performance solaire afin de quantifier l'utilisation chaque technologie solaire
- Quelle est la technologie solaire la plus appropriée dans le contexte étudié ?

- 3. Identifier les meilleures configurations existantes en termes de performance solaire tenant compte des conditions climatiques semi-arides.** C'est-à-dire faire une comparaison entre les configurations urbaines représentatifs pour désigner celles qui peuvent maximiser les apports solaires pour le chauffage passif pendant la saison froide et les minimiser pour éviter la surchauffe pendant la saison chaude, en plus de maximiser la production d'énergie à partir des capteurs photovoltaïques et solaires thermiques.

Cet objectif est lui-même associé à un certain nombre de questionnements

- Existe-t-il des formes urbaines meilleures que d'autres par rapport à l'ensoleillement ?
- Quels sont les critères mesurables qui peuvent garantir une telle comparaison ?
- Quelle est la configuration urbaine la plus performante dans le contexte étudié ?

4. Déterminer les paramètres qui influence le plus la disponibilité solaire dans les formes urbaines étudiées.

- Certains paramètres de la configuration urbaine sont-ils plus importants que d'autres ?
- Par quel moyen peut-on définir les paramètres les plus important ?
- Est-il possible de mesurer la relation entre le paramètre de la forme urbaine et la performance solaire ?

Jeux d'hypothèse

A partir des éléments de la problématique annoncée précédemment, la présente thèse propose les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : La technologie solaire la plus appropriée pour une configuration d'un quartier urbain résidentiel collectif peut être identifier à travers l'évaluation du potentiel solaire disponible pour ce quartier.

Cette hypothèse nous propose la traduction des données de disponibilité solaire, à des indicateurs de performance solaire, liées à l'utilisation de cette ressource naturelle dans la production d'électricité local et le chauffage actif et passif. Cette opération va permettre de quantifier l'utilisation de chaque technologie solaire dans la forme étudiée. Cela va nous permettre par la suite d'identifier la ou les technologies solaires les plus appropriées pour chaque forme urbaine étudiée.

Hypothèse 2 : Les paramètres de la forme urbaine peuvent modifier considérablement le potentiel solaire dans les quartiers résidentiels collectifs à Batna

Afin de répondre à la question d'amélioration du rendement de potentiel solaire, cette hypothèse nous propose de chercher les meilleures configurations sur la base de deux paramètres clés dès la phase « conception » : le premier est géométrique, qui concerne la configuration formelle des constructions et le deuxième est morphologique, en relation avec le site lui-même, on parle d'orientation, d'implantation et de situation vis-à-vis l'espace immédiat que ce soit naturel ou construit.

Approche méthodologique

Afin de tester les hypothèses formulées et de répondre aux objectifs proposés, cette recherche sera développée en huit chapitres, définis comme suit :

Chapitre 01

L'utilisation de l'analyse bibliométrique dans la rédaction de revue de littérature a été mise en évidence dans ce chapitre. Cette approche utilise l'analyse quantitative sur le « Meta-Data » disponible dans les bases de données documentaires afin de révéler des modèles et des associations concernant les interactions entre les recherches traitant sur un même sujet. L'ensemble des indicateurs, sources documentaires, et outils utilisés dans cette approche ont été définis. Les résultats de cette analyse ont été présentés dans les deux chapitres qui suivent.

Chapitre 02

Sera une synthèse des travaux présents dans la littérature sur les outils et méthodes utilisés dans l'évaluation du potentiel solaire dans l'environnement urbain. Ce cadre théorique va fournir un aperçu sur les outils et les méthodes appliqués par les chercheurs afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines.

Chapitre 03

Sera une synthèse des travaux présents dans la littérature sur l'impact de la morphologie urbaine sur le potentiel solaire. C'est un cadre théorique qui va nous permettre d'identifier les jeux d'indicateurs et de paramètres de la morphologie urbaine influençant la performance solaire des bâtiments présents dans la littérature.

Chapitre 04

À travers l'observation et l'analyse descriptive des quartiers résidentiels de la ville de Batna, on va identifier un corpus d'étude représentatif du parc résidentiel collectif de la ville. Le chapitre va fournir une présentation des aspects géographiques, climatiques, environnementaux, et sociaux de la ville. On terminera ce chapitre par une description de processus élaboré pour la modélisation numérique 3D.

Chapitre 05

Est consacrée à la présentation de la méthodologie de recherche. Sera fournie dans ce chapitre une description détaillée du processus de l'analyse morphologique, l'analyse solaire, et l'analyse statistique.

Chapitre 06

Ce chapitre a pour objet de présenter les résultats de l'analyse morphologique qui a été menée sur les dix morphologies étudiées. C'est une description quantitative des typologies existantes représentatives du parc d'habitat collectif à Batna.

Chapitre 07

Ce chapitre a pour objectif l'évaluation du potentiel solaire au niveau du corpus d'étude. Il contient les résultats issus des différentes simulations solaires effectuées sur les modèles numériques des quartiers résidentiels collectifs, représentatifs la ville de Batna.

Chapitre 08

Sera consacré à une étude statistique afin d'observer et de quantifier les relations entre les paramètres de forme urbaine sur le revenu de l'énergie solaire. Il s'agit d'une discussion des résultats obtenus, conclue en proposant quelques recommandations pour une meilleure maîtrise de la forme urbaine conduisant à une meilleure performance solaire.

Chapitre 1,

L'analyse Bibliométrique

Comme Outil d'Aide à la

Rédaction De Revue de Littérature

I. INTRODUCTION

Les professionnels des bibliothèques et des sciences de l'information utilisent des outils bibliométriques pour étudier les processus de communication et les flux d'informations, et pour comprendre la gestion et la diffusion des connaissances. Actuellement, les outils bibliométriques sont couramment utilisés pour évaluer la production scientifique, sélectionner des revues et prédire le potentiel d'une discipline ou d'une discipline (Bertha Abby Adeniji, 2019).

L'utilisation de l'analyse bibliométrique dans la rédaction de revue de littérature va être mise en évidence dans ce chapitre. Cette approche utilise l'analyse quantitative sur le « Meta-Data » disponible dans les bases de données documentaires afin de révéler des modèles et des associations concernant les interactions entre les recherches traitant sur un même sujet. L'ensemble des indicateurs, sources documentaires, et outils utilisés dans cette approche vont être définis dans le présent chapitre. En d'autres termes, présenter les outils et indicateurs émanant de définir les canaux (auteurs, articles, revues, institutions et pays) les plus influents dans notre thème de recherche.

La bibliographie, le couplage, et l'analyse cartographique fournis par VOSviewer vont également être introduits. Les résultats de cette analyse constitueront la matière théorique des chapitres qui suivent.

II. CONSTRUIRE UN BACKGROUND CONCEPTUEL

Le développement des technologies de communication en informatique et Internet a conduit à l'accumulation d'information constituant des mégadonnées que l'esprit humain est parfois incapable d'appréhender. (Elgandy & Elragal, 2014) déclaraient que les mégadonnées (*Big data*) font référence à des ensembles de données non seulement volumineux, mais également très variés et rapides, ce qui les rend difficiles à gérer à l'aide d'outils et de techniques traditionnels.

Au cours des dernières décennies, les mégadonnées ont été introduites dans divers domaines de recherche, apportant des innovations encourageantes aux théories et technologies associées. D'une part, les mégadonnées ont fourni de nouvelles informations et connaissances, soutenant une compréhension nouvelle ou meilleure des problèmes ciblés, et remettant ainsi en question les théories de base qui reposaient sur des données traditionnelles. D'autre part, ces mégadonnées ont appelé à une rénovation substantielle des techniques de traitement et d'analyse et ont même donné naissance à de nouvelles méthodologies, notamment dans le domaine de l'informatique (Tang et al., 2022). A ce propos, les scientifiques déploient des techniques d'apprentissage automatique et des méthodes d'apprentissage en profondeur pour tirer parti des données recueillies (Raeesi Vanani & Majidian, 2020).

En revue de littérature, l'exploration des mégadonnées, également connue sous le nom de *knowledge discovery in databases* peut être définie comme le processus d'analyse de grands référentiels d'informations et de découverte d'informations implicites mais potentiellement utiles. L'exploration de données a la capacité de découvrir des relations cachées et de révéler des modèles et des tendances inconnus en creusant dans de grandes quantités de données (Siguenza-Guzman et al., 2015). Plusieurs termes ont été utilisés pour désigner l'exploitation des mégadonnées dans la revue de la littérature : La scientométrie, l'infométrie, la bibliométrie, etc. Ci-dessous, nous découvrirons la véritable signification de tous ces noms et nous explorerons la différence entre eux en comparant les définitions qui leur sont données par les chercheurs.

II.1. L'infométrie

Le terme *infométrie* a été introduit par Blackert et Siegel (1979) et par Nacke (1979). Cependant, le domaine « *infométrie* » a déjà commencé dans la première moitié du XXe siècle (Egghe, 2005). (Nicolas Barts et al., 2014) le définirent comme l'ensemble des activités métriques relatives à l'information, couvrant aussi bien la bibliométrie que la scientométrie.

Dans son article scientifique nommée *expansion of the field of informetrics: origins and consequences*, (Egghe, 2005) a défini l'infométrie comme un terme étendu comprenant toutes les études métriques liées aux sciences de l'information tels que: bibliométrie (bibliographies, bibliothèques, etc.), la scientométrie (politique scientifique, analyse des citations, évaluation de la recherche, etc.), la webométrie (métriques du web, d'internet ou d'autres réseaux sociaux comme les réseaux de citation ou de collaboration).

II.2. La scientométrie

Le dictionnaire encyclopédie (encyclopédie.fr, 2022) définit le terme scientométrie comme « *Science de la mesure et de l'analyse de la science* ». (Leydesdorff & Milojević, 2015) le définit comme « *L'étude de la science, de la technologie et de l'innovation d'un point de vue quantitatif* ». cependant, selon (Nicolas Barts et al., 2014), La *scientométrie* est une application des méthodes statiques à des données quantitatives (tel que les données bibliographiques), caractéristiques de l'état de la science. Donc la scientométrie est la science qui utilise les métadonnées et les analyses statistiques pour étudier une discipline/sujet scientifique du point de vue quantitatif.

II.3. La bibliométrie

Le sujet de la bibliométrie concerne « *l'évaluation quantitative d'articles scientifiques et d'autres travaux publiés, y compris les auteurs de ces articles, les revues où les travaux ont été publiés et le nombre de fois où ils sont ensuite cités* » (Hao et al., 2015). Le terme peut également être défini comme « *La spécialité chargée d'étudier quantitativement la production, la distribution, la diffusion et la consommation de l'information véhiculée dans tout type de document (livre, revue, conférence, brevet, ou site Internet) et dans toutes les sphères d'activité, mais avec une attention particulière à l'information scientifique* » (Martín-Martín et al., 2018). L'étude bibliométrique est donc un moyen de mesurer la performance d'une recherche ou une activité scientifique utilisant un ensemble des méthodes d'analyse quantitative et des indicateurs.

Le terme bibliométrie a été introduit par Pritchard en 1969. Il le détermina comme une application des méthodes mathématiques et statistiques à un corpus de littérature scientifique (Glänzel, 2003). On applique l'analyse bibliométrique pour analyser une zone géographique, une institution, un chercheur, des groupes de chercheurs. L'étude bibliométrique aide le

chercheur à concevoir son profil bibliométrique, identifier son positionnement épistémologique grâce aux métadonnées des publications scientifiques présentes dans les bases de données.

La production scientifique (la quantité de résultats scientifiques produits) et l'impact scientifique (l'influence des résultats scientifiques sur la progression suivante de la science) sont les deux composantes importantes pour mesurer la performance de la recherche scientifique (Bach, 2011). La bibliométrie permet d'évaluer les auteurs, les articles scientifiques, les revues, les institutions, les pays etc. Dans le cadre de l'évaluation d'une recherche scientifique, l'impact désigne la mesure des bénéfices résultant des activités scientifiques. L'apport de l'impact de la recherche ne se limite pas au domaine scientifique. Il se manifeste aussi dans d'autre domaine comme illustre la Figure1(Bibliothèque de l'Université Laval, 2022).



Figure 1. Impact de la recherche scientifique. Source : (Bibliothèque de l'Université Laval, 2022)

Selon ces interprétations la spécialité scientométrie est restreinte à la mesure de la communication scientifique, alors que la bibliométrie est conçue pour traiter des processus d'information plus généraux. Plus largement, l'infométrie est l'ensemble des activités couvrant aussi bien la bibliométrie que la scientométrie.

III. LES INDICATEURS BIBLIOMETRIQUES

Il existe une multiplicité d'indicateurs bibliométriques parmi eux des indicateurs qui évaluent les sources (journaux, revues) spécialement le facteur d'impact, et ceux qui évaluent les auteurs tels que : le nombre total de publication, le nombre total de citations, le H index, le facteur G, etc. À de rares exceptions, ils reposent essentiellement sur une analyse des citations et héritent donc des problèmes liés à leurs sources (Bach, 2011).

La Figure 2 présente une illustration des quatre grandes familles des indicateurs de la bibliométrie ; indicateurs de production, indicateurs de collaboration, indicateurs d'impact et indicateurs d'excellence. La première famille contient le nombre de publication, le pourcentage des publications rattachées à une discipline, l'indice de spécialisation, et la part des publications dans la production nationale. Subséquemment, les indicateurs de collaboration comportent le pourcentage ou le nombre des publications issues d'une collaboration nationale, internationale, ou une collaboration avec un auteur privé, et le nombre de co-auteurs par publication. Les indicateurs d'impact incluent : nombre de citation par publication, FWCI (Feiled-Weighted Citation Impact), H index (chercheur) et G-index (revue). Le nombre de publications parmi les 1% les plus citées dans Scopus, les plus citées de la discipline concernée et le nombre de publications dans les revues ayant le plus haut indicateur d'impact sont les critères des indicateurs d'excellence (Bordeaux, 2021).

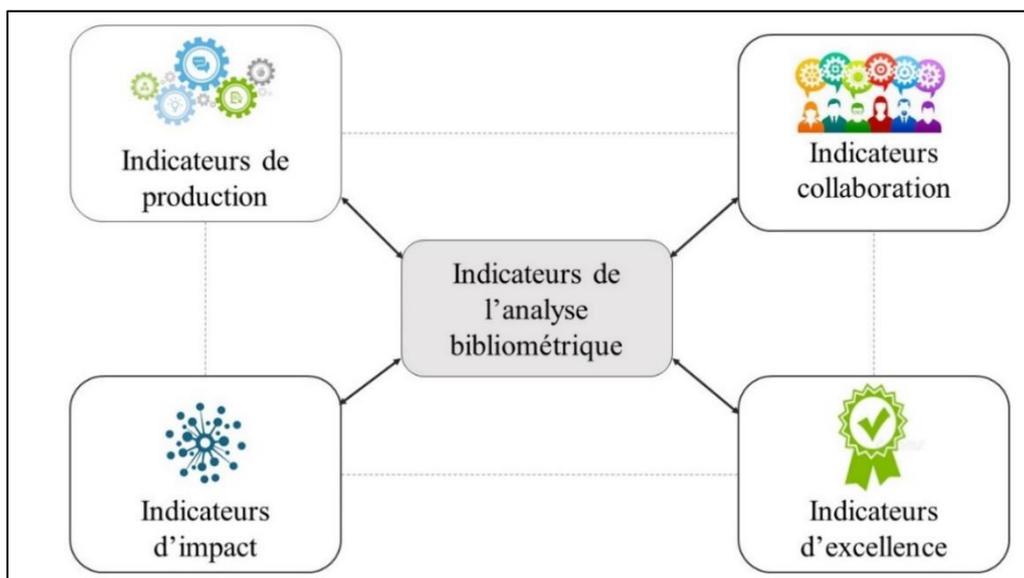


Figure 2. Classification en quatre grandes familles des indicateurs de l'analyse bibliométrique. Source : (Bordeaux, 2021 ; réadapté par l'auteur).

Une autre catégorisation des indicateurs de l'analyse bibliométrique est présentée dans la **Figure 3**. Cette catégorisation s'appuie sur les indicateurs les plus utilisés ; indicateurs d'impact d'un article, les indicateurs d'impact d'une revue et les indicateurs d'impact d'un chercheur ou d'un groupe de chercheurs (Liège university library, 2022) .

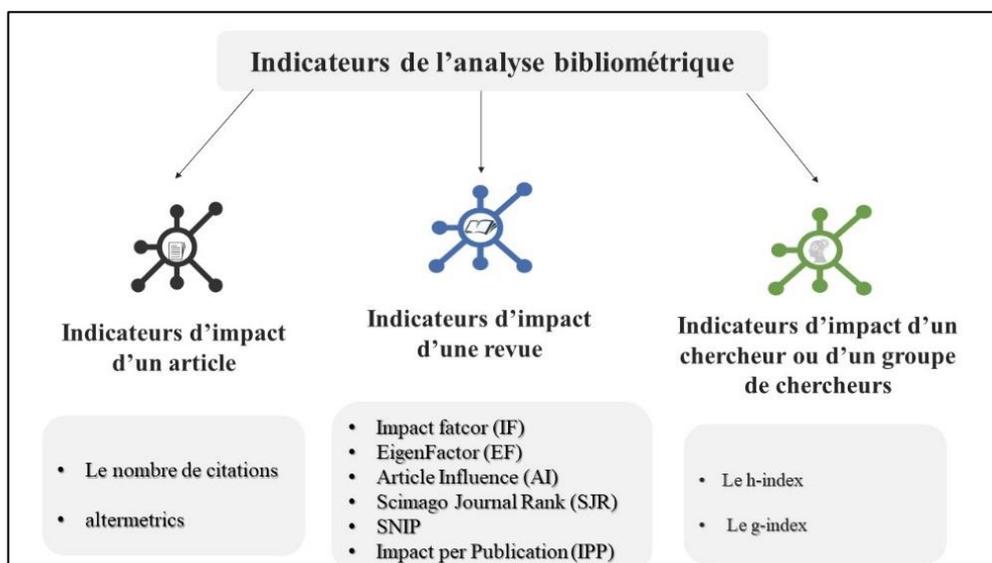


Figure 3. Classification des indicateurs de l'analyse bibliométrique selon les impacts d'article, de revue et de chercheurs. Source : (auteur)

Dans ce qui suit, cette dernière classification utilisant les indicateurs d'impact sera utilisée pour la définition de ces indicateurs et la découverte des domaines, raisons et objectifs de leur utilisation.

III.1. Indicateurs d'impact d'un article

III.1.1. Nombre de citations

Constitue l'un des indicateurs les plus utilisés en bibliométrie pour évaluer la qualité scientifique d'un document. Le nombre de citations mesure le nombre de fois qu'un document est cité par d'autres publications scientifiques au sein d'un corpus donné et sur une période donnée (Liège university library, 2022). Ce nombre est donc différent en fonction des bases de données (Web of Science, Scopus, Google Scholar, Dimensions, etc.) qui n'ont pas le même périmètre.

III.1.2. Altmetrics

Ce sont les mesures de l'usage des articles sur Internet et en particulier via les réseaux sociaux. ils peuvent compléter utilement le nombre de citations dans une base bibliographique donnée (Liège university library, 2022).

III.2. Indicateurs d'impact d'une revue

III.2.1. Impact Factor (IF)

Il est défini par le rapport fait chaque année entre le nombre de citations dans l'année « n » d'articles du journal parus dans les années n-1 et n-2 (uniquement) et le nombre total d'articles publiés par cette revue pendant ces mêmes deux années (Bach, 2011). Il est considéré comme un indicateur de la qualité d'un journal en donnant une indication de l'impact d'une revue. Son but est d'aider les chercheurs à comprendre la valeur du contenu publié dans une revue par rapport à d'autres revues dans un domaine : plus le score est élevé, plus l'impact de la revue est important (Diane Cooper, 2015). Cet indicateur a fait l'objet de diverses critiques car il représente une moyenne de citations pour l'ensemble des articles de la revue durant une certaine période. Or, de très nombreux articles publiés dans ces revues ne reçoivent qu'un très faible taux de citations et ne devraient pas bénéficier de la notoriété assurée par le nombre moyen de citations. Néanmoins, il reste très largement utilisé dans certaines disciplines.

III.2.2. EigenFactor (EF)

L'Eigenfactor évalue l'influence d'une revue en quantifiant le nombre de fois où des articles de la revue publiés au cours des cinq dernières années ont été cités dans l'année Journal Citation Reports (JCR) (USC Libraries, 2017). En outre, l'Eigenfactor pondère chaque référence en fonction d'une mesure stochastique du temps passé par les chercheurs à consulter une revue (Liège university library, 2022). Eigenfactor est essentiellement un rapport entre le nombre de citations et le nombre total d'articles. Cependant, contrairement au facteur d'impact, le score Eigenfactor :

- Compte les citations de revues en sciences et en sciences sociales.
- Élimine les autocitations. Chaque référence d'un article d'une revue à un autre article de la même revue est déduite.

- Pondere chaque référence selon une mesure stochastique du temps passé par les chercheurs à lire la revue.

III.2.3. Article Influence (AI)

L'Article Influence Score mesure l'influence moyenne de chacun des articles d'une revue sur les 5 ans qui ont suivi sa publication ([Liège university library, 2022](#)). Il s'agit du score Eigenfactor de la revue, divisé par la fraction d'articles publiés par la revue. Cette fraction est normalisée de sorte que la somme totale des articles de toutes les revues soit 1 ([USC Libraries, 2017](#)). Cet indicateur utilise les données de citation de Thomson Reuters Web of Science.

III.2.4. Scimago Journal Rank (SJR)

C'est un portail qui regroupe les revues et les indicateurs scientifiques de pays, élaborés à partir des informations contenues dans la base de données Scopus (Elsevier) ([USC Libraries, 2017](#)). L'indicateur SJR (désormais SJR2) évalue le "prestige" d'une revue sur base de l'idée que "toutes les citations ne sont pas égales", notamment en fonction des domaines de recherche ([Liège university library, 2022](#)).

III.2.5. Source Normalized Impact per Paper

L'indicateur SNIP (désormais SNIP2) mesure l'impact contextuel des citations en pondérant les citations en fonction du nombre total de citations dans un domaine, sur base du corpus de Scopus. L'impact d'une seule citation se voit attribuer une valeur plus élevée dans les domaines où les citations sont moins probables, et vice versa ([USC Libraries, 2017](#)).

III.2.6. Impact per Publication

L'indicateur IPP donne une indication de l'impact d'une revue et mesure le rapport entre le nombre de citations que reçoivent les articles d'une revue au cours des 3 années précédentes et le nombre d'articles publiés dans cette revue pendant la même période. Contrairement au SNIP et au SJR, l'IPP n'est pas normalisé par domaine de recherche ([Liège university library, 2022](#)). Cet indicateur utilise les données de citation de Scopus.

III.3. Indicateurs d'impact d'un chercheur ou d'un groupe de chercheurs

III.3.1. Le h-index

Inventé en 2005 par l'universitaire Jorge Hirsch en Californie, le h-index est un indicateur de productivité qui, contrairement au nombre total de publications ou de citations, est censé mesurer la qualité scientifique d'un chercheur. Le nombre H d'un auteur est défini par le nombre H d'articles de cet auteur ayant été cités au moins H fois (Bach, 2011). Par exemple, un scientifique qui a un H-index de 20 a écrit 20 articles cités au moins 20 fois. L'index h d'un individu peut être très différent dans différentes bases de données. En effet, les bases de données indexent différentes revues et couvrent différentes années.

III.3.2. Le g-index

Proposé en 2006 par L. Egghe, le G-index est un indicateur qui vise à mettre l'accent sur la qualité des travaux scientifiques plutôt que sur leur quantité. Il correspond au "plus grand nombre d'articles pour lesquels il est vrai de dire que l'ensemble des g articles ont reçu au moins g^2 citations" (USC Libraries, 2017). Un G index de 10 indique que l'auteur a écrit dix papiers dont la somme des citations est au moins 100. Le G-index dépend du corpus de références pris en considération et sera donc différent selon la base de données considérée. Le logiciel *Publish or Perish* permet de calculer automatiquement un G-index sur base des références d'un auteur retrouvées sur Google Scholar.

IV. SOURCES DOCUMENTAIRES

Les bases de données comprennent des informations bibliographiques et citationnelles des publications utilisées dans la bibliométrie (Bernard Pochet, 2018). Il existe plusieurs bases de données pluridisciplinaires : Google Scholar, Citebase, Publish Or Perish, etc. sont des bases de données bibliographiques en accès ouvert. Web of Science, Scopus, dimensions, etc. sont des bases de données bibliographiques en accès restreint. Ces deux bases sont accessibles sur abonnements. Le [Tableau 1](#) présente des outils d'analyse des deux bases de données Web Of Science (WoS) et Scopus. WoS est un logiciel qui utilise ISI-Thomson Reuters pour exécuter les recherches. Les deux outils d'analyse Journal Citation report (JRC) et citations index permettent de déterminer le facteur d'impact (IF) et les réseaux de citations, respectivement.

La base de données Scopus est édité par Elsevier, elle utilise deux outils d'analyse SciVal et SciMago. SciVal Spotlight est un outil d'analyse développé par Elsevier pour comparer la performance d'institution de recherche et termes des publications. SciMago est un outil d'analyse indépendant, il permet de donner le facteur d'impact (IF) et SciMago Journal Rank (SJR indicator).

Tableau 1. Présentation des outils de l'analyse de base de données. Source : (auteur).

Bases de données	Editeur	Développement des outils	Outil d'analyse	Résultats
Web of Science (WoS).	<i>Institute for Scientific Information (ISI) de Thomson-Reuters.</i>	<i>Thomson-Reuters</i>	<i>Journal Citation Reports (JRC)</i>	<i>Facteur d'impact (IF)</i>
			<i>Citation index</i>	<i>Réseaux de citations</i>
Scopus	<i>Elsevier</i>	<i>Elsevier</i>	<i>SciVal Spotlight</i>	<i>Comparer la performance d'institution de recherche</i>
				<i>Comparer la performance des termes de publication</i>
		<i>Indépendant</i>	<i>SciMago</i>	<i>Facteur d'impact (IF)</i>
				<i>SciMago (SJR indicator)</i>

L'accès à la littérature scientifique est assuré par trois types de portails : les portails scientifiques spécialisés, les bases de données bibliographiques généralistes et les bases de données spécialisées (Bernard Pochet, 2018).

Les portails scientifiques spécialisés se caractérisent par un accès libre et des ressources où la recherche est effectuée directement sur les sites des éditeurs ou sur des sites officiels universitaires, sites gouvernementaux, institutions internationales etc. Les fameux portails d'accès libre à la littérature scientifique sont Google scholar (<https://scholar.google.com/>), Bielefeld Academic Search Engine (BASE) (<https://www.base-search.net/>), et WorldWidScience (<https://worldwidescience.org>).

Les bases de données bibliographiques généralistes ou base de sommaire sont alimentées par les tables des matières des périodiques. Ces bases de données sont constituées sans distinction de domaine. Les termes utilisés pour l'interrogation sont donc des mots-clés, exemple : Scopus, WOs, etc.

Les portails scientifiques spécialisés intègrent plusieurs sources différentes dans une même base de données. Elles sont appelées aussi bibliographies analytiques, exemple AGRIS. Les

sources bibliographiques dans ces portails sont spécialisées dans un domaine particulier dont le document est toujours accompagné d'une analyse de contenu y compris un résumé et une description approfondie.

V. L'EVALUATION BIBLIOMETRIQUE

L'évaluation est l'un des fondements de la validation d'un travail scientifique (Bach, 2011). Elle est utilisée pour déterminer la valeur des documents. Sa pratique en analyse bibliométrique permet de mesurer l'influence des articles scientifiques car elle est le point d'ancrage pour une connaissance de la communication scientifique, d'éviter les pièges d'autopublication, et l'éparpillement de la production scientifique.

V.1. Analyse de citations

L'objectif d'une analyse de citations est de mesurer l'importance relative ou l'impact d'un auteur, d'un article ou d'une publication (Bertha Abby Adeniji, 2019). L'outil le plus courant d'analyse des citations est le nombre de citations, c'est à dire le nombre de fois qu'un élément source est cité dans d'autres ouvrages (Diane Cooper, 2015). Ce sont les bases de données académiques couramment utilisées pour la recherche et la rédaction (Web of science, Scopus, Dimensions., etc.) qui donnent accès à une collection de nombre de citations pour chaque publication.

Cependant, tout comme pour le facteur d'impact, l'importance qui lui est donnée l'expose à de nombreux biais et perversions : auto-citations, citations d'amis ou au sein d'un même groupe d'auteurs, tronçonnement d'un article long en plusieurs articles courts, citations démesurées quand il s'agit d'ouvrages pédagogiques, techniques ou de nature à être souvent consultés, citations négatives qui ne sont pas distinguées des autres, etc. De plus, comme cela est constaté pour la plupart des indicateurs, les pratiques de publications et donc de citations varient beaucoup d'une discipline à l'autre et les valeurs annoncées doivent donc être impérativement replacées dans leur contexte disciplinaire.

L'une des grandes faiblesses de cette analyse est que le nombre de citations ne dit pas le rôle de l'auteur dans la publication qu'il a mentionné, en réalité que la contribution peut différer du premier auteur au rôle du collaborateur technique. De plus, l'importance qui lui est donnée l'expose à de nombreux biais et perversions : auto-citations, citations d'amis ou au sein d'un

même groupe d'auteurs, tronçonnement d'un article long en plusieurs articles courts, etc (Bach, 2011).

V.2. Analyse de cooccurrence

Le terme co-occurrence est l'occurrence fréquente de deux termes de recherche dans une requête (Bertha Abby Adeniji, 2019). Cette étude mesure la relation entre les documents, les auteurs, les revues, les institutions et les pays concernant la publication sur un thème donné. (Osareh, 1996) affirme que cette analyse permet d'identifier les documents, les auteurs, les revues, les institutions et les pays susceptibles d'être étroitement liés.

La co-citation est la fréquence à laquelle deux documents sont cités ensemble (Osareh, 1996). Elle est utilisée pour mesurer la force de la relation. La mesure est calculée en utilisant le nombre de fois que les deux objets sont cités ensemble. Ainsi, Les statistiques de co-auteur sont également utilisées pour identifier la relation entre les auteurs, les instituts de recherche ou les pays.

V.3. Analyse des mots clés

Les analyses bibliométriques utilisent les mots-clés pour généraliser le contenu du document en texte intégral. Les mots-clés aident les lecteurs à saisir rapidement l'idée centrale, la technique ou la méthode de base. Ils permettent une vue holistique du domaine où les mots à haute fréquence donnent un aperçu du cœur du domaine. Plus important encore, les mots-clés à faible fréquence offrent un aperçu des concepts nouveaux et innovants émergeant dans un domaine (Bertha Abby Adeniji, 2019).

Les analyses de mots-clés mesurent la relation entre les mots et les termes à l'aide de relations de cooccurrence. Lorsque deux mots apparaissent dans le même document, on dit que les mots coexistent dans le document.

V.4. Couplage bibliographique

Le couplage bibliographique est utilisé pour étudier le développement de la science dans un domaine spécifique (Osareh, 1996). (Egghe, 2005) signale trois applications principales : (1) l'évaluation qualitative et quantitative des scientifiques, des publications et des institutions scientifiques ; (2) la modélisation du développement historique de la science et de la technologie ; et (3) la recherche et la récupération d'informations. Il existe deux niveaux de

couplage dans cette analyse : le couplage bibliographique qui relie les documents sources, et le couplage co-citation qui relie les documents cités.

V.5. Cartographie bibliométrique

La cartographie bibliométrique est un outil utilisé pour étudier la structure et la dynamique des champs scientifiques. Les chercheurs utilisent des cartes bibliométriques pour améliorer la compréhension du domaine. La visualisation des données bibliométriques permet de mieux comprendre les relations entre disciplines, collègues invisibles et fronts de recherche (Bertha Abby Adeniji, 2019).

VI. OUTILS ET LOGICIELS DE L'ANALYSE BIBLIOMETRIQUE

Le **Tableau 2** présente des outils de l'analyse bibliométrique. VOSviewer fonctionne sur la plupart des matériels et systèmes d'exploitation plates-formes grâce à un développement dans le langage de programmation Java. Ce logiciel est téléchargé depuis (www.vosviewer.com), il est utilisé librement.

La construction d'un réseau bibliométrique dépend d'une bonne sélection des fichiers en entrée à Vosviewer. Les bases de données précédemment citées (section 4) sont utilisées pour la collecte du corpus. Suivant les outils et l'objectif d'analyse, le corpus peut être exporté sous plusieurs formats (RIS, EndNote, RefWorks, etc.). Tour à tour, VOSviewer peut télécharger des données via une API (Application Programming Interface). Subséquemment, une application de deux attributs de pondération standard, définis comme : « attribut de liens » et « attribut de force de lien total » pour construire un réseau bibliométrique.

VOSviewer est largement utilisé dans l'analyse bibliométrique, en particulier dans l'analyse thématique, la cartographie et l'analyse de cluster. Les cartes visualisées en Vosviewer sont en trois catégories : la visualisation du réseau, la visualisation de la superposition et la visualisation de la densité. De nos jours, une tendance constatée à la hausse significative dans l'utilisation de cet outil.

Tableau 2. Présentation des outils de l'analyse bibliométrique. Source (auteur).

Caractéristiques	Logiciels					
	Bibexcel	CiteSpace	CitNetExplorer	Publish or Perish	SAINT	VOSviewer
<i>Gratuit</i>	X		X	X		X
<i>Open source</i>					X	
<i>Convertir les données bibliographiques</i>	X					
<i>Analyser les données bibliographiques</i>						X
<i>Langage de programmation</i>		JAVA	JAVA			JAVA
<i>Visualiser les cartes bibliographiques</i>	X	X	X			X
<i>Source de données</i>	<i>Wos, Scopus</i>	<i>Wos, Scopus, Dimensions, Lens</i>	<i>Wos, Scopus,</i>	<i>Wos, Scopus,</i>	<i>Wos, Scopus,</i>	<i>Wos, Scopus, Dimensions, Lens</i>
<i>Visualiser les réseaux de citations de publications scientifiques</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Analyser les réseaux de citations de publications scientifiques</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Importation des réseaux de citations depuis la base de données</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Récupération des citations bibliographiques</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Calcule le nombre de citations par article, par auteur et par année ainsi que l'indice h, l'indice g et d'autres indices bibliométriques.</i>				X		
<i>Convertir des données initialement en format ISI</i>					X	
<i>Analyse Scientométrique</i>					X	
<i>Analyser les réseaux de publications (des mots-clés)</i>		X	X			X
<i>Visualiser les réseaux de publications (citations)</i>		X	X			X
<i>Visualiser les réseaux de publications (co-auteurs)</i>		X	X			X
<i>Visualiser les réseaux de publications (institutions).</i>		X	X			X
<i>Création des cartes de l'analyse bibliométrique</i>		X	X			X
<i>Exploration des cartes de l'analyse bibliométrique</i>		X	X			X
<i>Fonctionnement sur la plupart des matériels / systèmes d'exploitation.</i>		X	X			X

VII. CONCLUSION

La bibliométrie est un outil qui permet une évaluation quantitative des travaux de recherche. Elle est fondée sur l'utilisation des publications scientifiques comme indicateurs de la production de leurs auteurs. Ces indicateurs, nombre de publications, nombre de citations, facteur d'impact, facteurs intégrés H, G ou autres, etc., sont calculés à partir de base de données bibliographiques couvrant la quasi-totalité de la littérature scientifique et de leurs citations dans la plupart des disciplines.

Le présent chapitre a mis en évidence l'utilisation de l'analyse bibliométrique dans la rédaction de revue de littérature. Cette approche a été présentée puisqu'elle sera utilisée dans les deux chapitres théoriques qui suivent. Nous avons pu fournir également un panorama de sources documentaires, d'indicateurs d'évaluation et d'outils d'analyse utilisés dans cette approche. L'accent a été mis sur les sources, indicateurs et outil qu'on va employés dans les chapitres théoriques.

Nous avons choisi l'application VOSviewer pour effectuer notre étude bibliométrique. Le choix a été effectué en fonction de ses multiples qualités et les diverses analyses que cet outil peut effectuer. De plus, l'outil est gratuit et nécessite pas de licence pour son utilisation. La bibliographie, le couplage, et l'analyse cartographique fournis par VOSviewer vont également être déployés. Les résultats de cette analyse constitueront la matière théorique des chapitres qui suivent.

Chapitre 2,

Analyse Bibliométrique

des Approches et Méthodes pour

l'Évaluation du Potentiel Solaire dans

l'Environnement Urbain

I. INTRODUCTION

La configuration spatiale des villes exerce une influence directe sur la consommation d'énergie (Bruun Jørgensen et al., 2018). À son tour, la disponibilité de l'énergie solaire influence la forme physique et fonctionnelle des villes, le comportement humain ainsi que les processus d'inclusion sociale (Owens, 1986). Des opérations de prise de décision -qui sont généralement des opérations très complexes- doivent être exercées au cours de cette dualité. Des méthodes et outils personnalisés sont nécessaires pour soutenir et faciliter ces décisions et pour soutenir les considérations d'énergie solaire dans les processus de planification urbaine. Notre futur environnement bâti doit être peu énergivore pour être résilient aux évolutions futures des ressources et de la distribution énergétiques (Djihed Berkouk et al., 2022; Kanters et al., 2014a).

Les objectifs de ce chapitre sont de :

- Définir un ensemble de méthodes et d'outils capables d'évaluer la disponibilité de l'énergie solaire en milieu urbain et d'aider à la prise de décision dans la planification urbaine en matière d'énergie solaire,
- Mener une étude comparative pour déterminer les méthodes et outils les plus efficaces pour les mesures solaires actives et passives,
- Choisir ou adapter une approche appropriée en adéquation avec les objectifs de cette thèse afin d'être utilisée dans la partie pratique.

En plus des trois objectifs énoncés, les chercheurs les plus influents travaillant sur ce sujet, les centres de recherche et les pays auxquels ils appartiennent, ainsi que les articles de recherche les plus cités seront présentés.

II. Outils et méthodes de l'évaluation du potentiel solaire des bâtiments au milieu urbains

De nombreuses méthodologies pour l'évaluation et l'estimation du gisement solaire disponible sur l'enveloppe des bâtiments situés dans un milieu urbain ont été développées ces dernières années. La raison essentielle pour laquelle ces recherches sont effectuées est la démonstration de la contribution des techniques solaires au bilan énergétique des zones urbaines (Mahaya, 2014). A ce propos, deux informations ont une importance particulière: le modèle de l'ombre dynamique dus aux bâtiments et à l'environnement immédiat, et les inter-réflexions voisins entre les surfaces de cet ensemble (Compagnon, 2004b).

Les méthodes actuellement disponibles peuvent être séparés en quatre larges catégories :

1. Des méthodes basées sur des cartes d'irradiation
 - Les systèmes d'information géographique (SIG),
 - Données géographiques du bâtiment et images aériennes,
 - Google Street View
2. Des méthodes basées sur l'analyse de la géométrie solaire et les cartes d'ombre
3. Des méthodes de quantification énergétique sur une géométrie 3D
4. Techniques de traitement d'images

Dans ce qui suit, on va essayer de présenter -à travers les résultats des articles les plus cités- quelques méthodes d'évaluation du potentiel solaire de la forme urbaine et leurs outils associés. Le classement précédemment démontré va être retenu dans la présentation. Reste à spécifier que c'est plutôt une description sommaire de quelques méthodes qu'on a trouvé dans notre recherche bibliographique. Les travaux sélectionnés ci-dessous ne représentent pas tous les outils disponibles, mais sont des outils utilisés dans les quinze premiers articles les plus cités illustrées dans le [Tableau 2](#).

Tableau 1. Les outils et/ou méthodes d'évaluation utilisées dans les quinze articles les plus cités. Source : (auteur).

Classement	Publication	Nombre de citations	Liens	Outils et/ou méthode d'évaluation
01	(Fonseca et al., 2016)	149	5	City Energy Analyst (extension pour ArcGIS)
02	(Singh & Banerjee, 2015)	121	5	PVSyst
03	(Romero Rodríguez et al., 2017)	84	8	SimStadt
04	(Mainzer et al., 2017)	82	3	Openstreetmap, aerial images, and RE ³ ASON /roof
05	(Groppi et al., 2018)	61	5	GIS
06	(Gros et al., 2016)	58	2	EnviBatE and SOLENE
07	(Vulkan et al., 2018)	58	6	Shadow cast (R packadge)
08	(Wang et al., 2018)	57	1	CESAR/EnergyPlus
09	(Karteris et al., 2013)	52	5	Statistical calculation model
10	(Kanters et al., 2014b)	50	3	Tools and methods review
11	(Nault et al., 2015)	47	4	Evaluation metrics review
12	(Gong et al., 2019)	41	6	Google Street View
13	(Miao et al., 2020)	31	2	SVF review
14	(Ouria & Sevinc, 2018b)	26	3	Ladybug
15	(Chow et al., 2014)	26	4	Area Solar Radiation tool dans ArcGIS

II.1.1. Les méthodes basées sur des cartes d'irradiation

Ce sont des méthodes d'évaluation du potentiel solaire appliquée généralement aux toitures dans un milieu urbain. En revanche, ces méthodes paraient plus efficace quand il s'agit d'évaluer de manière plus globale un quartier, une commune, ou une ville entière. Leur grand avantage réside dans la possibilité d'automatiser les séquences de calcul et de produire rapidement des données géoréférencées, permettant une première estimation par bâtiment, quartier, commune ou région. Ces méthodes peuvent être divisées en trois catégories en fonction des outils utilisés :

II.1.1.1. Les systèmes d'information géographique (SIG)

Ce sont les modèles les plus sophistiqués pour prédire le potentiel physique de la source solaire à grande échelle du tissu urbain. Ils sont généralement appliqués sur des modèles de surfaces urbains en 2.5 D, issues à partir des données LiDAR, des cartes numériques vectorielles 2D, ou des informations altimétriques sur les hauteurs des bâtiments. Les modèles en question s'appuient sur le SIG pour représenter les résultats des algorithmes de rayonnement appliqués aux données de surfaces. Les outils utilisés et repris sous cette section sont nombreux et indénombrables, parmi lesquels on citera ce qui suit :

- Les modules *v.sun* implémentés dans *GRASS GIS*
- *solar radiation* (c'est une toolbox dans le logiciel *ArcGis*)
- L'algorithme *SOL* créé dans l'environnement *Matlab*
- *City Energy Analyst* (extension pour *ArcGIS*)

Ce dernier outil (*City Energy Analyst*) a été proposé par (Fonseca et al., 2016). C'est un outil pour l'évaluation et l'optimisation des systèmes énergétiques des bâtiments à l'échelle des quartiers urbains. L'outil est une extension du système d'information géographique *ArcGIS* v10.3, développée dans le langage de programmation open source *Python* v2.7. Le modèle a été testé dans une étude de cas dans la ville de Zoug en Suisse. Il s'agit d'un site industriel de 25 ha en cours de transformation urbaine où les chercheurs ont évalué quatre trajectoires de développement et ont trouvé des solutions d'infrastructure optimales pour leur exploitation. Les potentiels énergétiques locaux disponibles dans le site étudié sont calculés, et les technologies solaires présentent le potentiel le plus élevé sur site. En termes de rendement, ce potentiel peut atteindre 20 GWh/an en utilisant les deux technologies photovoltaïque et thermique.

(Groppi et al., 2018) dans leur recherche intitulée ' *A GIS-based model to assess buildings energy consumption and usable solar energy potential in urban areas*' ont proposés une approche basée sur l'évaluation du potentiel d'énergie solaire utilisable des bâtiments résidentiels à travers l'estimation de la productivité PV et thermique. Basée sur la méthode "urban cell" définie lors d'un projet de recherche bilatéral entre l'Italie et la Suède, cette approche a été appliquée dans deux cellules urbaines (UC) de Ladispoli. (Italie). L'évaluation du potentiel solaire a été réalisée à l'aide des outils « *Solar Area Radiation* » et « *Zonal statistics as table* » dans *ArcGIS*. Ainsi, les surfaces totales des toits des bâtiments capable de recevoir des installations PV et thermique a été identifiée en utilisant un seuil irradiation moyenne annuelle. La production annuelle d'énergie a été calculée par la suite, à partir de surfaces adaptées à chaque technologie. En conséquence, le potentiel de réduction des besoins en énergie non renouvelable a été évalué pour les deux quartiers étudiés. Les résultats ont démontré que les bâtiments adaptés à l'installation des collecteurs thermiques et photovoltaïques atteignent les 35% et 33% respectivement. Autant, l'énergie non renouvelable économisée est estimée à 28% pour l'électrique et 18% pour la thermique.

Pour évaluer le potentiel solaire sur deux modèles 3D différents situés dans le sud de l'Ontario (Canada), (Chow et al., 2014) ont présenté une approche de modélisation des systèmes d'information géographique (SIG) 3D à une résolution spatio-temporelle fine. L'approche de modélisation SIG 3D utilisée dans cette recherche comprenait trois étapes principales : (1)

construire un modèle 3D des cas étudiés ; (2) estimation du potentiel solaire ; et (3) extraction de données. Dans la deuxième étape, les chercheurs ont utilisé l'extension le programme a été utilisé *Area Solar Radiation Tool* dans ArcGIS 10.2, qui permet l'analyse de l'ensoleillement sur une zone géographique pour des périodes spécifiques. Les principaux paramètres d'entrée de cet outil sont les suivant : latitude, type du ciel, configuration temporelle, directions de calcul, divisions zénith et azimut, modèle de rayonnement diffus, proportion diffuse et transmissivité. Il a été constaté que la conception de communauté solaire alternative offrait moins d'ombrage et des valeurs d'insolation moyennes plus élevées par rapport à la conception originale du plan du site. Les solstices d'hiver et d'été reçoivent respectivement jusqu'à 6 % et 14 % de rayonnement solaire moyen en plus.

II.1.1.2. Données géographiques du bâtiment et images aériennes

En 2017, des chercheurs de l'Institut de technologie de Karlsruhe (KIT) en Allemagne ont développé une nouvelle méthode pour évaluer le potentiel PV des toitures urbaines et effectuer des analyses très détaillées sans avoir à s'appuyer sur des modèles de villes en 3D ([Mainzer et al., 2017](#)). Ceci est réalisé par une combinaison de données géographiques de construction et d'images aériennes qui sont analysées à l'aide d'approches de reconnaissance d'images et d'apprentissage automatique *machine 'learning approach'*. Cette méthode peut être appliquée dans n'importe quelle région où des données *OpenStreetMap*, des images aériennes ou satellites, ainsi que des données d'éclairage et de température sont disponibles. Le modèle RE³ASON pour l'analyse et l'optimisation des systèmes énergétiques urbains a été utilisé pour l'évaluation du potentiel PV. Ce dernier permet d'ajuster tous les paramètres pertinents selon les besoins pour les applications dans d'autres régions. La ville allemande de Fribourg a été choisit comme cas d'étude pour démonstration et validation. Les résultats prouvent qu'un potentiel de production d'électricité de 524 GWh/a a pu être identifié, dont 85 GWh/a ont été classés comme déjà exploités.

([Singh & Banerjee, 2015](#)) proposent une méthodologie hybride d'estimation du potentiel solaire photovoltaïque sur les toits de la ville indienne de Mumbai à l'aide de (1) simulations dans PVSyst et (2) analyse d'images géospaciales de l'imagerie satellitaire de la zone concernée. Ces derniers sont utilisés pour extraire la surface totale d'emprise au sol et la considérer comme la surface totale du toit disponible pour l'installation photovoltaïque. Les profils de production annuels et quotidiens et le facteur de capacité ont été estimés pour les panneaux solaires photovoltaïques considérant les différentes valeurs nominales d'efficacité des cellules solaires et de coefficient puissance-température. Les principales étapes de leur schéma méthodologique

sont : (1) estimation de surface totale du toit disponible pour l'installation de systèmes solaires photovoltaïques ; (2) estimation de l'insolation efficace du plan de réseau (POA) pour le système PV ; (3) analyse d'impact du choix de différents dispositifs PV. Les résultats montrent un potentiel solaire photovoltaïque en toiture de 2190 MW pour la ville étudiée, avec des panneaux à rendement moyen. Le plan solaire photovoltaïque sur le toit peut couvrir jusqu'à 31% de la demande quotidienne d'électricité.

II.1.1.3. Google Street View

En utilisant les images issues de *Google Street View (GSV)*, (Gong et al., 2019) ont présenté une méthode de calcul des gains solaires sur les rues urbaines à forte densité de Hong Kong. La méthode consiste premièrement à calculer les facteurs de vue de ciel à travers l'extraction du ciel, de la végétation, et des bâtiments à partir des images (GSV). À l'aide de la méthode d'analyse de scène, des images fish-eye sont générées. Les trajectoires solaires diurnes sont calculées par la suite en utilisant l'algorithme SOLPOS pouvant définir les angles solaires en fonction de temps et de position d'observateur dans une rue. Deuxièmement, des équations ont été utilisées pour calculer d'abord l'irradiance solaire dans des conditions de ciel clair et d'horizon libre, puis combinée avec les morphologies des rues et la trajectoire solaire pour dériver l'irradiance solaire au niveau de la rue par ciel clair. Finalement, l'irradiation solaire au niveau de la rue *all-sky street-level solar irradiance* a été dérivée depuis les mesures de composantes directes et diffuses combinées avec les morphologies des rues et les trajectoires solaires. Les vérifications de la méthode développée montrent que le calcul de l'irradiance solaire a été effectué avec précision que ce soit pour le ciel clair ou nuageux.

II.1.2. Les méthodes basées sur l'analyse de la géométrie solaire et les cartes d'ombre

L'une des méthodes utilisées pour évaluer le potentiel solaire dans l'environnement urbain est de quantifier les ombres projetées à une période donnée dans cet environnement. La raison essentielle pour laquelle cette méthode a été développée est de permettre aux concepteurs de prévoir et de maîtriser plus rapidement et plus efficacement les diverses fonctions des espaces entre les bâtiments, autant que déterminer l'endroit approprié des collecteurs solaires actifs et des technologies passives. C'est la méthodologie adoptée par (Vulkan et al., 2018) pour estimer le potentiel de la production PV dans les quartiers résidentiels denses. La modélisation 3D des ombres projetées par les bâtiments est réalisée avec un modèle nommé « *Shadow* ». C'est un nouveau package développé en R, un langage open source pour l'analyse statistique. Les

entrées du modèle sont l'azimut et l'élévation du soleil, ainsi que le contour et la hauteur de tous les objets environnants. L'estimation des radiations solaires directes est effectuée en utilisant un fichier (TMY) contenant les données météorologiques typique d'une année. L'insolation annuelle a été calculée par l'addition des valeurs horaires pour une grille de 1 m² couvrant toutes les façades et les toitures des bâtiments. Le modèle a été validé par deux méthodes : la prise en photos du cas d'étude dans un moment donné, et l'ombre générée dans le même moment par SketchUp 3D.

Dans la recherche d'une approche pour l'évaluation du potentiel photovoltaïque sur les toitures plates des bâtiments multifamiliaux à plusieurs étages typiques de la ville de Thessalonique au nord de la Grèce, (Karteris et al., 2013) ont proposé un modèle statistique simplifiée basée sur l'analyse de régression qui utilise la relation entre deux ou plusieurs variables quantitatives afin qu'une variable puisse être prédite à partir des autres. Le modèle en question a été intégré dans une démarche méthodologique comprenant trois étapes :

1. Examen de cas d'étude et calcul de la surface de toit plat adaptée à l'énergie solaire.
2. Utilisation de l'analyse statistique des données recueillies pour estimer le potentiel solaire des toits en utilisant une classification de leurs paramètres de configuration
3. Validation du modèle en comparant les surfaces solaires prédites et mesurées.

Les résultats ont montré que le modèle fournit des résultats fiables et que l'environnement urbain est moins propice aux installations photovoltaïques. La densité du bâti et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement la surface exploitable, typiquement moins de 50% de la surface du toit.

II.1.3. Les méthodes de quantification énergétique sur une géométrie 3D

Le premier chercheur qui a utilisé ces méthodes est le professeur Raphaël Compagnon à l'université des Sciences Appliquées de la Suisse (HES-SO) dans le cadre du projet PRECis (Compagnon, 2004a; HenriKämpf et al., 2010; Montavon, 2010). Ce sont des méthodes pour évaluer l'utilisation de l'énergie solaire. Suivant ces méthodes, l'évaluation de l'énergie finale qui peut être produite par des applications solaires ou conservée en utilisant des stratégies d'éclairage naturel dans un environnement urbain doit suivre cinq étapes :

- 1- Obtenir et traiter les données météorologiques du site ;
- 2- Construire le modèle géométrique 3D du cas objet d'étude utilisant des logiciels CAD ;
- 3- Calculer l'énergie solaire globale incidente reçus par l'enveloppe des bâtiments utilisant des logiciels de simulation ;
- 4- Calculer des valeurs seuils pour chaque technologie solaire ;
- 5- Extraire la surface susceptible de recevoir les technologies solaires de la surface totale des enveloppes des bâtiments étudiés.

Adoptant cette approche, (Gros et al., 2016) ont présenté une étude dont l'objectif principale est de transformer un ancien camp militaire situé dans La Rochelle (France) en un quartier zéro carbone. Cette étude a été réalisée à l'aide de deux outils numériques, à savoir, EnviBatE et SOLENE-Microclimat. Ce dernier est un outil de simulation du rayonnement solaire pour les espaces urbains utilisant la contribution solaire globale (irradiations directe, diffuse et réfléchie) pour calculer les inter réflexions entre les surfaces afin d'obtenir les flux nets de rayonnement solaire. Le seul inconvénient de cet outil dévoilé dans la présente recherche est le temps de calcul relativement long « *nécessite une demi-journée de temps de calcul (avec un ordinateur de bureau typique) afin de simuler une période de 3 semaines* ». C'est ce que (Mahaya, 2014) a confirmé dans son mémoire de magistère utilisant cet outil pour maximiser les gains solaires dans un quartiers administratif urbain à Batna (Algérie).

En suivant ces mêmes méthodes de quantification énergétique, (Ouria & Sevinc, 2018a) a utilisé un autre outil de simulation nommé 'Ladybug for Rhino' accompagné du logiciel Excel pour analyser les irradiances solaires reçues sur les surfaces horizontales, verticales et inclinées des blocs et des routes dans le Complexe d'habitations sociales (SHC) de la ville de Famagouste (Turquie). Le potentiel d'énergie solaire de Famagouste a été modélisé numériquement et graphiquement en suivant un processus incluant quatre étapes essentielles : (1) analyse du rayonnement solaire sur la latitude ; (2) analyse des facteurs climatiques et géographiques ; (3) analyse de la géométrie du site ; et (4) analyse des matériaux/contexte. L'irradiation solaire est calculée analytiquement suivant la méthode de *Stephenson cosine* car il n'y a pas de mesure de rayonnement disponible dans le fichier des données météorologique de Ladybug. Les résultats prouvent que le cas d'étude dispose d'un énorme potentiel d'utilisation de l'énergie solaire. Le rayonnement solaire moyen calculé pour les toitures inclinées affiche les valeurs de 1156 w/m², 1316 w/m² et 935 w/m² en 21 décembre, 21 mars et 21 juin respectivement. Le rayonnement horizontal global est de 1121,75 Wh/m², et les capteurs solaires obtiendraient une énergie solaire maximale avec une inclinaison optimale d'environ 45 à 60°.

Dans l'objectif de déterminer le potentiel solaire photovoltaïque de la ville de Ludwigsburg dans le sud-ouest de l'Allemagne, (Romero Rodríguez et al., 2017) ont utilisé une plate-forme de simulation urbaine innovante développé à l'Université des Sciences Appliquées de Stuttgart. À l'aide de modèles de ville 3D construit dans La norme CityGML de l'Open Geospatial Consortium, la plateforme Java SimStadt est utilisée pour étudier et identifier le potentiel technique et économique pour chaque bâtiment de la région en fonction de la forme de son toit. Cela est mis en évidence en suivant deux étapes principales : (1) La détermination de la surface disponible du toit capable de recevoir des collecteurs photovoltaïques, et (2) la détermination du potentiel technique et économiques des modules PV. Le potentiel technique est défini par la mise en place de panneaux PV sur toutes les surfaces disponibles après l'application des coefficients de réduction. Le potentiel économique est le résultat de ne considérer que les bâtiments dont les rendements solaires sur leur toit sont supérieurs à une valeur seuil. De plus, une surface de toit minimale est considérée, de sorte que les bâtiments dont les surfaces de toit sont inférieures à ce minimum ne seront pas pris en compte. Selon les résultats obtenus, il est possible d'atteindre des taux élevés de demande d'électricité couverte par le PV pouvant couvrir 100% des besoins dans certaines communes à faible densité.

Basé sur une méthode de modélisation ascendante pour le développement de stratégies de transformation énergétique durable des bâtiments dans les quartiers suisses, (Wang et al., 2018) ont présenté un outil de simulation permet de d'évaluer la demande énergétique actuelle et les futurs potentiels de rénovation des quartiers. Cet outil nommé CESAR utilise EnergyPlus comme noyau de simulation. Il est composé de deux modèles individuels : (1) un modèle de demande (DM) chargé d'identifier la demande énergétique actuelle en utilisant les informations géoréférencées et les données de recensement disponibles ; (2) un modèle de rénovation (RM) capable d'évaluer un ensemble de scénarios de transformation énergétique, basés sur la stratégie énergétique suisse 2050. Trois quartiers résidentiels différents en Suisse sont pris comme études de cas : urbain, suburbain, et rural. Les résultats de comparaison entre les études de cas montrent que leur transformation future révèle une grande différence en fonction de la consommation d'énergie. Cette dernière dépend fortement de la configuration existante du quartier (types de bâtiments, âge des bâtiments, emplacement, construction et quartier) ainsi que des types de systèmes existants.

II.1.4. Techniques de traitement d'images

Il s'agit d'une méthode originale proposée par (Mardaljevic & Rylatt, 2003) pour évaluer le rayonnement solaire incident annuel et/ou mensuel des façades de bâtiments en milieu urbain. Cette méthode utilise des techniques de visualisation pour générer des cartes d'irradiation solaire (images en fausses couleurs montrant l'irradiation annuel/mensuel). Les cartes sont issues d'une série temporelle horaire sur une année et prennent en compte les ombres portées des bâtiments et les inter-réflexions entre les surfaces. Ils permettent d'identifier précisément où le rayonnement est maximal - sur les façades - pour faciliter l'installation de technologies solaires. La méthode est actuellement implémentée dans un logiciel s'exécutant sur une station de travail équipée d'un environnement UNIX, et son système de simulation est un ensemble de programmes et de scripts qui initient, traitent et visualisent des images de rayonnement solaire. Ces images ont été créées à l'aide du système de simulation Radiance. La comparaison de cette méthode avec d'autres méthodes d'évaluation montre sa supériorité en termes de précision, et la répartition inégale de l'éclairage dans des environnements complexes est facilement comprise dans le rendu. Toutefois, cette précision a un impact négatif sur le temps de calcul, et la création d'images d'irradiance est une étape très longue.

Nous concluons cette section par la présentation d'une revue de littérature intitulée « *Tools and methods used by architects for solar design* » (Kanters et al., 2014b) dont les chercheurs ont fourni un aperçu sur les outils et méthodes existants pour la conception solaire pendant le processus de conception. Ces outils ont été identifiés en utilisant deux techniques de recherches : une enquête internationale adressée à des professionnels a été réalisée dans le cadre de l'IEA-SHC Task 41-Solar Energy and Architecture couvrant 14 pays à travers le monde, combinée à des entretiens semi-directifs.

Les résultats de l'analyse du questionnaire ont affirmé que les outils de conception assistée par ordinateur les plus utilisés étaient AutoCAD, Google SketchUp, Revit Architecture, ArchiCAD, Vectorworks et 3dsMax, tandis qu'Ecotect, RETScreen, Radiance, Polysun, PVSol et PVsyst étaient les outils de simulation solaire les plus courants (Figure 14). De plus, certains outils de simulation ont été désignés comme préférés durant le processus de conception précoce à l'image d'Ecotect et RETScreen. D'autres outils plus spécifiques et complexes tel que Polysun et PVSol sont utilisés dans des étapes ultérieures.

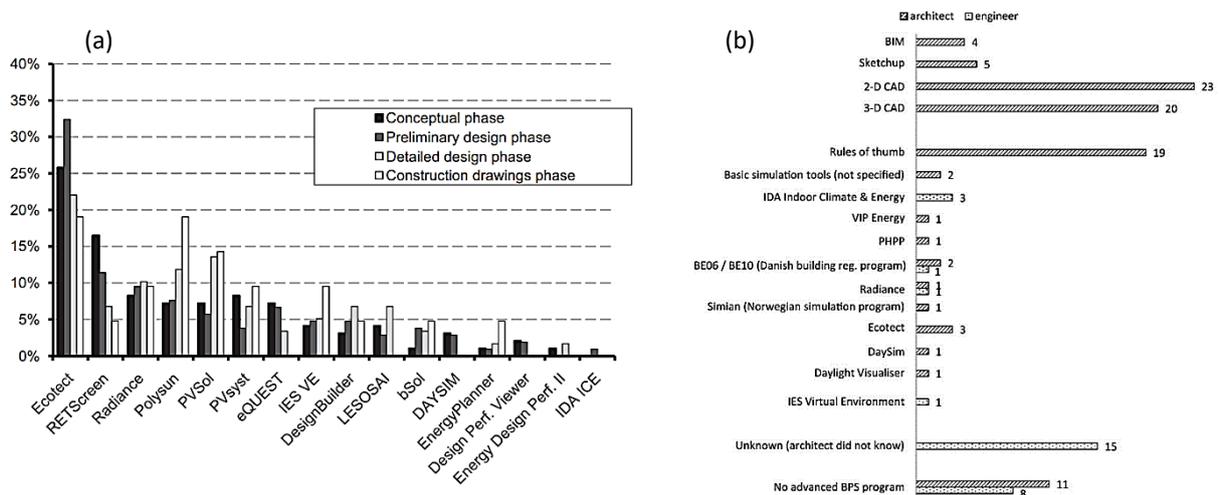


Figure 1. (a) Distribution des réponses pour la question : identifier à quelle étape de conception vous utilisez les programmes informatiques listés. (b) Les outils utilisés dans le processus de conception. Source : (Kanters et al., 2014b)

II.2. Les paramètres d'évaluation du potentiel solaire dans l'environnement urbain

Cette section présente les paramètres existants que les chercheurs ont utilisé dans leurs méthodes d'évaluation du potentiel solaire tels que le chauffage passif et le potentiel photovoltaïque en se référant à une revue de littérature établit par (Nault et al., 2015). Ladite recherche a classé les métriques d'évaluation comme étant :

1. **Géométrique** : calculée à partir de la morphologie des bâtiments, basée uniquement sur le modèle 3D.
2. **Solaire extérieur et géométrique** : calculée à partir du niveau d'ensoleillement des surfaces extérieures exprimé en termes d'irradiation (kWh/m^2) ou d'éclairement (klux).
3. **Climatique et géométrique** : obtenues par une simulation conventionnelle plus complexe, prenant en compte le climat et la géométrie.

De plus, les chercheurs ont catégorisé cinq critères de performance solaire :

1. **Passif** : possibilité de bénéficier du chauffage solaire passif
2. **Lumière du jour** : bénéficier de la lumière du jour
3. **Actif** : production d'énergie par les systèmes solaires actifs (photovoltaïque et solaire thermique)
4. **Énergie** : représentation des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage
5. **Autre** : sortant des thèmes précédents, par ex. confort thermique extérieur

L'étude de cas des métriques *géométriques* examinés a illustré que les principaux indicateurs des besoins de chauffage et de refroidissement sont les rapports (1) surface/volume et (2) fenêtre/plancher. Pour l'autonomie en lumière du jour, le rapport de zone passive présente la plus forte corrélation. Concernant les métriques *solaires extérieur et géométrique*, le meilleur indicateur pour tous les critères de performance est l'irradiation annuelle/surface de plancher.

III. CONCLUSION

Alors que la pression augmente de plus en plus pour augmenter l'utilisation de l'énergie solaire en remplacement des énergies fossiles, il existe un besoin urgent de nouvelles façons responsables de mettre en œuvre les éléments de collecte solaire dans les contextes urbains.

Les principales étapes des méthodes d'estimation du potentiel solaire comprennent l'estimation de l'irradiation solaire sur une période donnée, l'évaluation de la surface disponible pour l'installation des techniques solaires, et le calcul de rendement et/ou puissance produite par ces technologies. Nous avons démontré à travers une étude bibliométrique et systématique de l'état de l'art les différentes méthodologies et outils utilisées pour chacune de ces étapes. Chacune de ces méthodes reflète des avantages et des inconvénients : Les méthodes basées sur les SIG par exemple peuvent s'exécuter sur de larges surfaces, mais elles sont principalement conçues pour étudier les zones urbaines existantes. Cependant, les professionnels de l'urbanisme solaire ont besoin de ces outils dans les premières phases de conception. Autant, les méthodes déployant les diagrammes solaires avec ses diverses projections géométriques traitent principalement la composante directe du rayonnement solaire or que la composante réfléchie est un élément primordial dans les études solaires et ne doit absolument être négligé.

L'analyse thématique a montré que la plupart des modèles sont conçu spécialement pour évaluer le potentiel photovoltaïque sur les toitures. Ce qui apparaît clairement comme des lacunes à deux égards :

- 1- De nombreuses technologies solaires autres que les panneaux solaires photovoltaïques ont fait leurs preuves comme solution efficace, soit pour réduire la consommation énergétique (chauffage passif, éclairage naturel) ou pour produire de l'énergie renouvelable (collecteurs thermiques). De ce fait, l'utilisation de ces technologies dans les tissus urbains méritent d'être évalués et leur contribution dans les bilans énergétiques doit être estimé.

- 2- La surface des façades dans les quartiers urbains est -au minimum- deux fois plus grande que celle des toitures. C'est précisément pour cette raison que la recherche ne doit pas se concentrer uniquement sur les toitures. Le montage des différentes technologies solaires sur les façades va surement contribuera efficacement au bilan énergétique.

Le concept de « l'évaluation énergétique » à la base de la modélisation tridimensionnelle de la géométrie offre l'avantage de surmonter ces lacunes. Encore, il offre de précieuses possibilités pour étudier multitude critères de performance solaire. L'outil Ladybug peut contribuer à trouver des solutions valables à l'équilibre problématique entre la promotion de l'énergie solaire et la protection du contexte urbain. L'outil a été utilisée pour évaluer la qualité et l'acceptabilité des différentes approches d'intégration solaire proposées par l'ensemble d'études de cas recueillies et documentées dans le présent chapitre et le chapitre suivant.

Chapitre 3,

Analyse Bibliométrique

Des Paramètres de la Forme Urbaine et le

Gisement Solaire.

I. INTRODUCTION

La géométrie urbaine affecte la quantité de rayonnement solaire sur l'enveloppe du bâtiment ainsi que le microclimat et le modèle de flux d'air autour des bâtiments (Sanaieian et al., 2014). Des paramètres comme la compacité de la forme urbaine, la densité des bâtiments, leurs disposition et hauteur influencent considérablement l'accessibilité au rayonnement solaire de l'environnement intérieur et extérieur. L'influence est due principalement aux ombres portées et au rayonnement solaire réfléchi résultant de changements dans ces paramètres.

A l'aide d'une analyse bibliométrique, le présent chapitre vise à définir la forme urbaine ainsi que ses caractéristiques qui détermineront le bilan solaire local afin de bien comprendre leur contribution en tant que solutions passives pour réduire la consommation d'énergie. C'est une synthèse des travaux présents dans la littérature sur l'impact de la morphologie urbaine sur le potentiel solaire. Il va permettre d'identifier les jeux d'indicateurs et de paramètres de la morphologie urbaine influençant la performance solaire des bâtiments à travers l'analyse des recherches présents dans la littérature.

Plus largement, les chercheurs les plus influents travaillant sur ce sujet, les centres de recherche et les pays auxquels ils appartiennent, les revues publiant le plus sur le sujet, ainsi que les articles de recherche les plus cités seront présentés.

I.1. Préambule

L'énergie solaire peut être utilisée non seulement passivement pour le chauffage et l'éclairage naturel (Jakica, 2017 ; Shareef, 2021 ; Wang et al., 2017 ; Yang et al., 2021) mais aussi activement pour la production d'électricité et d'eau chaude sanitaire (S. Al Qadi et al., 2018 ; S. B. Al Qadi et al., 2017 ; Fardi Asrami et al., 2021 ; Mohammad et al., 2019 ; Porse et al., 2020 ; Vulkan et al., 2018 ; Xu et al., 2019 ; R. Zhu et al., 2020). Au cours des dernières décennies, on s'est beaucoup intéressé à l'étude de la relation entre la conception urbaine et la performance solaire (Ahmadian et al., 2021 ; Agra et al., 2016 ; Bahgat et al., 2020 ; Morganti et al., 2017 ; Poon, 2020 ; Shi et al., 2021 ; Zhang et al., 2019 ; R. Zhu et al., 2019 ; Xu et al., 2021). La configuration des quartiers résidentiels a également été évaluée pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire. Cependant, la plupart de ces études se concentrent sur les villes européennes (IEA, 2018). Dans le contexte africain, notamment en climat semi-aride, peu d'études ont évalué le rôle de l'environnement bâti résidentiel sur la performance solaire (Bensehla et al., 2021; Lau et al., 2017; Mahaya et al., 2022).

La morphologie des quartiers résidentiels influence considérablement le potentiel solaire et la consommation énergétique des bâtiments (Bellini et al., 2017 ; Levinson et al., 2009 ; Xia & Li, 2021). Le choix des paramètres spatiaux appropriés est déterminé par les objectifs, l'échelle et les conditions climatiques de l'étude (Aghamolaei et al., 2018). Les effets propres à la conception et aux paramètres du site ont été étudiés dans la littérature (Berkouk et al., 2022; Nault et al., 2015). Certains travaux de recherche se sont concentrés sur l'étude de l'influence d'une seule caractéristique unique, à savoir la hauteur optimale des immeubles d'appartements (Seong et al., 2011), la typologie des blocs résidentiels (Natanian & Wortmann, 2021 ; Tian & Xu, 2021 ; Vartholomaios, 2015 ; Xia & Li, 2021), orientation (Morrissey et al., 2011), densité et compacité (FNAU, 2006 ; Samuelson et al., 2016), forme des toits (Ayoub & Elseragy, 2018 ; Elnokaly et al., 2019 ; Elseragy & Elnokaly, 2007 ; Kaji et al., 2021 ; Lopez-ruiz et al., 2020 ; Y. Li & Liu, 2017), surfaces urbaines et imperméabilisation des sols (Croce & Vettorato, 2021 ; Fokaides et al., 2016). En comparaison, les approches récentes intègrent diverses caractéristiques tout en tenant compte de leurs interactions (Lobaccaro et al., 2017 ; Ouria & Sevinc, 2018).

I.2. Etat de l'art des recherches les plus influençant

La quasi-majorité d'articles les plus cités sur la relation entre l'énergie solaire et les paramètres de la forme urbaine étaient des études de simulation comprenant des analyses paramétriques, des analyses de sensibilité utilisant les méthodes statistiques, et quelques tentatives d'optimisation par algorithmes informatiques. Le **Tableaux 2** et la **Figure 12** présentent les recherches les plus citées dans le sujet en montrant les paramètres de la forme urbaine étudiés dans chaque recherche.

Tableau 1. Les paramètres de la forme urbaine étudiés dans les dix publications les plus cités. Source : (auteur).

Classement	Publication	Nombre de citations	Liens	Paramètre étudié
01	(Sarralde et al., 2015)	142	13	9 paramètres (Tableau 3)
02	(Nahid Mohajeri et al., 2016)	110	16	Divers indicateurs de Compacité (Figure 13)
03	(Zhang et al., 2019)	79	10	Typologie du block urbain
04	(Li et al., 2015)	68	7	Building aspect ratio, azimuth, couverture de site
05	(Andreou, 2014)	62	6	Densité urbaine, Ratio H/W des rues, orientation des rues.
06	(Martins et al., 2016)	50	7	9 paramètres (Tableau 5)
07	(Takebayashi et al., 2015)	41	4	Ratio de couverture de bâtiments, indicateur de caractéristiques de la rue
08	(Lobaccaro et al., 2019)	40	8	Typologie bâti, orientation, H/W ratio, morphologie, hauteur.
09	(N. Mohajeri et al., 2019)	35	4	Aspect ratio, orientations, largeur et longueur de rues, SVF
10	(Lee et al., 2016)	29	5	Typologie, densité, Floor area ratio, Nombre d'étages (Tableau 6)

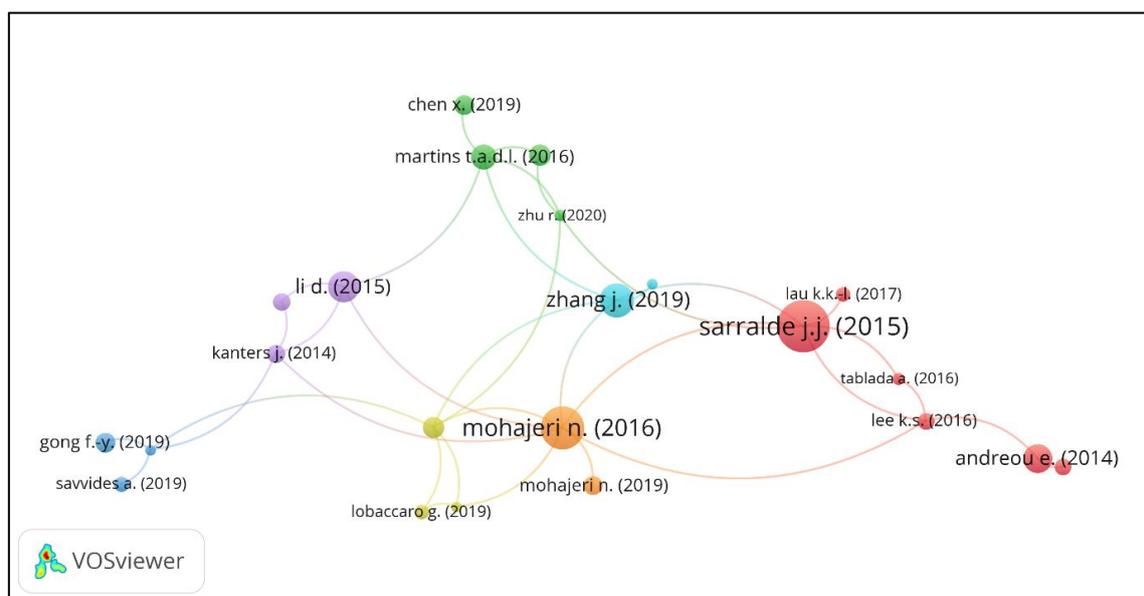


Figure 1. Analyse bibliométrique des publications sur le sujet par nombre de citations. Source:(auteur).

Le premier article le plus cité est intitulée « *Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London* » (Sarralde et al., 2015). L'article a été cité 142 fois depuis son apparition en 2015. Il a acquis son importance grâce aux nouvelles variables de la forme urbaine qu'il a impliqués dans l'analyse. A la nouvelle vision d'impliquer les variables de la forme urbaine étudiées dans des scénarios utilisant deux modèles capables de prédire l'irradiation solaire des toits et des façades. L'approche méthodologique proposée par les chercheurs dans cette étude consiste à :

- 1- Caractériser la morphologie urbaine des quartiers à Londres (cas d'étude), en calculant une variété de descripteurs de forme urbaine agrégés.
- 2- Modéliser l'irradiation solaire des enveloppes de constructions au moyen d'une simulation informatique utilisant l'extension *Area Solar Radiation* du pack logiciel ArcGIS, ArcMap 10.0.
- 3- Etablir une analyse statistique utilisant l'analyse de régression multiple dans R pour explorer les interrelations entre les descripteurs de la morphologie urbaine et l'irradiation solaire des enveloppes de constructions. Deux modèles nommées Roof-SolREP et Façade-SolREP sont finalement sélectionnés. Le premier est basé sur six descripteurs de la morphologie urbaine et le deuxième sur 3 seulement. Les descripteurs utilisés dans les deux modèles sont répertoriés dans [Le Tableau 3](#).
- 4- Les deux modèles ont été utilisés pour tester différents scénarios possibles de morphologie urbaine qui pourraient aider à augmenter l'irradiation solaire des enveloppes de construction.

Tableau 2. Descripteurs de la morphologie urbaine utilisés pour prédire l'irradiation solaire des toits et des façades. Source : (Sarralde et al., 2015)

Roof-SolREP	Façade-SolREP
1) Share of semi-detached houses	1) Average building height
2) Share of area covered by private gardens	2) Site coverage
3) Average building perimeter	3) Average distance between buildings
4) Standard deviation of building heights	
5) Plot ratio	
6) Average distance between buildings	

Après une analyse d'un total de 13 scénarios pour l'optimisation de potentiel d'énergie solaire, Les résultats montrent que par changement dans les descripteurs sélectionnés, les gains solaires sur les toits pourraient augmenter de 9%, tandis que ceux sur les façades pourraient augmenter jusqu'à 45%. De plus, il a été possible d'affirmer que la hauteur moyenne des bâtiments est

inversement proportionnelle aux gains sur les façades, tandis que le périmètre moyen des bâtiments est inversement proportionnel aux gains sur les toits.

Dans le but d'explorer la relation entre divers indicateurs de compacité et le potentiel solaire dans les 16 quartiers constituant la ville de Genève (Suisse), (Nahid Mohajeri et al., 2016) ont publié une recherche dont le nombre de citations est arrivé à 110. Cette recherche prend la deuxième place dans notre classement des recherches les plus citées dans le sujet. CitySim est utilisé pour estimer les gains solaires actifs (le photovoltaïque intégré au bâtiment (BiPV) et les capteurs solaires thermiques) et passifs sur les toits et les façades des bâtiments. Six indicateurs de compacité sont utilisés pour l'étude d'impact sur la disponibilité solaire (Figure 13). Dans ce but, les chercheurs se sont servis d'une analyse de sensibilité utilisant les modèles de régression des moindres carrés.

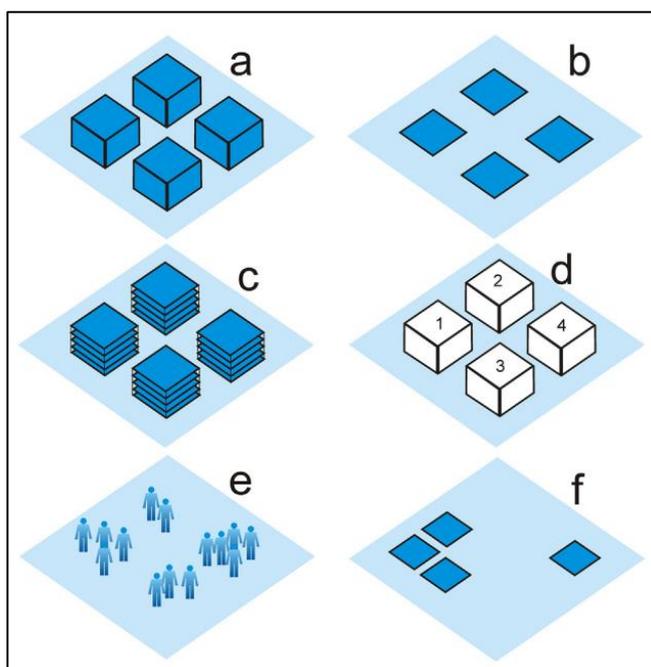


Figure 2. Présentation schématique des différents indicateurs de compacité urbaine étudiés : (a) Volumeearea ratio, (b) Site coverage, (c) Plot ratio, and (d) Building density, (e) Population density, (f) Nearest-neighbour ratio. Source : (Mohajeri et al., 2016).

Les résultats ont illustré une augmentation de 30 à 40% de l'irradiation annuelle en passant de quartiers compacts aux quartiers dispersés. Ainsi, le potentiel solaire de façades est beaucoup plus fortement affecté par le degré de compacité que le potentiel de toitures. Concernant l'effet des indicateurs, les résultats affirment que l'augmentation de la couverture du site tend à diminuer le potentiel solaire des bâtiments particulièrement le photovoltaïque et le solaire passif pour les façades. Contrairement, les gains solaires annuelles augmentent avec la distance du centre-ville, l'entropie de surface, de périmètre et de volume. Finalement, Dans les quartiers les

plus compacts, l'ensoleillement annuel est faible même si les bâtiments sont généralement favorablement orientés.

(Zhang et al., 2019) ont exercé une enquête sur la relation entre la typologie des blocs urbains et le potentiel de récupération de l'énergie solaire dans le contexte de la ville tropicale à haute densité de Singapour. Leur article a été cité 79 fois depuis son apparition en février 2019. Un total de 30 blocs urbains génériques dont six typologies de formes urbaines représentant un large éventail de stratégies de conception urbaine ont été examinés (Figure 14). Plusieurs paramètres de forme urbaine ont été calculés pour l'ensemble de cas afin de saisir leurs caractéristiques spatiales (Tableau 4).

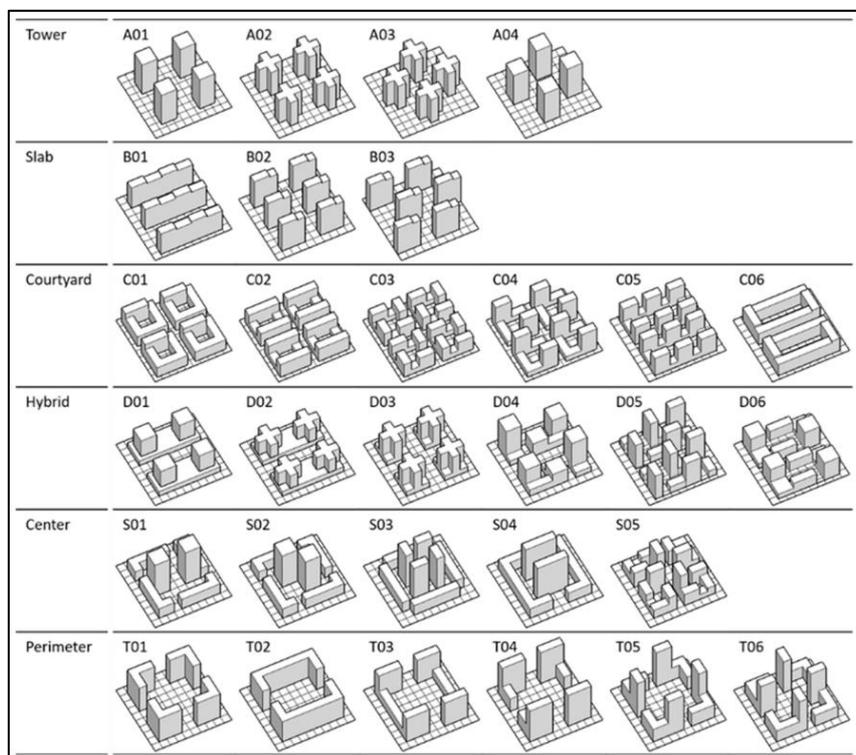


Figure 3. Les trente blocs urbains génériques étudiés réparties sur six catégories de typologie de block urbains. Source : (Zhang et al., 2019).

Tableau 3. Les paramètres géométriques calculés pour les trente cas de blocs urbains génériques. Source : (Zhang et al., 2019).

Typology	Ground Floor Area (m ²)	Site coverage	Open Space Ratio	Avg area-to-perimeter ratio (m)	Compactness (m ⁻¹)	PV roof coverage	Roof-to-floor area ratio	Roof-to-envelope area ratio	Area-weighted avg envelope SkyEF	Area-weighted avg envelope SVF
----------	-------------------------------------	---------------	------------------	---------------------------------	--------------------------------	------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------------	--------------------------------

Un modèle de travail a été créé en utilisant les plugin Ladybug et Honeybee de Grasshopper pour le logiciel Rhinoceros3D pour la simulation du rayonnement solaire et la modélisation énergétique des bâtiments. Les résultats suggèrent que le potentiel d'énergie solaire varie considérablement entre les six typologies génériques des blocs urbains. Il pourrait entraîner une augmentation jusqu'à 200% du potentiel d'énergie solaire et de l'électricité générée par la technologie PV. De plus, les typologies de la cour et des blocs urbains hybrides surpassent constamment les autres typologies en bénéficiant le plus du potentiel PV. Enfin, Les paramètres tels que « *roof-to-area ratio, site coverage, Open Space Ratio, and roof-to-envelope area ratio* » deviennent les facteurs importants à considérer comme des prédicteurs efficaces pour le potentiel d'énergie solaire.

En prenant les bâtiments résidentiels urbains à des différents niveaux de densités, (D. Li et al., 2015) ont évalué l'impact de trois paramètres de conception majeurs, à savoir : le rapport d'aspect du bâtiment, l'azimut et la couverture du site, sur les performances photovoltaïques et solaires thermiques des bâtiments résidentiels. Cette étude adopte la forme urbaine de type pavillon, la forme la plus courante dans les nouvelles zones résidentielles construites à Pékin (contexte d'étude). Dans les trois scénarios de densité adoptés, deux facteurs indépendants dont les effets sur le potentiel solaire sont étudiés : La forme du plan de construction exprimée par le rapport d'aspect, et l'orientation exprimée par l'angle d'azimut où 0° est lié au sud et 90° à l'ouest. Les résultats ont montré que l'augmentation de l'aspect du bâtiment et de la couverture du site augmentait le potentiel solaire. Subséquemment, l'orientation préférée pour un rendement PV meilleur est entre les deux angles d'azimut : 45° et $67,5^\circ$ pour le scénario de basse densité et entre $22,5^\circ$ et 45° pour le scénario de densité moyenne et élevée. Enfin, l'effet de l'ombre sur le rendement PV est plus évident que sur le rendement en ST, particulièrement pour le scénario de la haute densité. Sur les façades sud, l'ombrage réduits considérablement les deux rendements PV et ST.

(Andreou, 2014) a effectué une analyse paramétrique d'ombrage sur deux sites de caractères géométriques différents sur l'île de Tinos, en Grèce. L'analyse d'ombrage a été réalisée pour examiner trois paramètres qui influencent les conditions d'ombrage dans les rues urbaines, à savoir, la disposition urbaine, le ratio H/W des rues et leur orientation. L'outil d'analyse d'Autodesk Ecotect a été choisi pour calculer et visualiser les conditions d'ombrage et de l'accès solaire de l'ensemble des modèles sélectionnées. Les principales conclusions de cette recherche sont les suivant :

- La compacité et les rapports H/W élevés ont un effet positif sur les pourcentages d'ombrage pendant l'été.
- Contrairement aux rues orientées est-ouest, les pourcentages d'ombrage des surfaces horizontales dans les rues orientées sud-nord sont très peu différenciés au cours de l'année.
- Les façades opposées dans les rues N-S ont les mêmes pourcentages d'ombrage au cours de l'année. Au contraire, les pourcentages d'ombrage de façades opposées dans les rues E-W sont très différentes.
- Les façades sud sont les plus favorables, en particulier pour les ratios H/W faibles.

(Martins et al., 2016) ont mesuré l'effet de plusieurs paramètres de forme urbaine vis-à-vis trois objectifs énergétiques sous un climat tropical au Brésil : (1) l'exploitation de l'énergie solaire pour la production d'électricité locale, (2) réduire les gains de chaleur solaire indésirables, et (3) garantir des niveaux de lumière du jour satisfaisants. L'ensemble de paramètres urbains pris en considération dans cette recherche est illustré dans le [Tableau 5](#). A ce propos, les chercheurs ont eu recours à une méthodologie de Design of Experiments (DOE) utilisant l'outil modeFRONTIER. Les paramètres morphologiques étudiés sont rassemblés sur un modèle simplifié, composant un ensemble de scénarios urbains. Les scénarios urbains sont ensuite évalués concernant l'irradiation solaire et la disponibilité de la lumière du jour sur leurs surfaces à l'aide d'un algorithme de radiosité simplifié intégré au logiciel Citysim. A travers une analyse statistiques sur la sensibilité des principaux facteurs morphologiques fournis, les résultats indiquent que le rapport d'aspect (Aspect ratio), la distance entre les bâtiments et l'albédo sont les paramètres urbains produisant les effets les plus significatifs sur les trois variables d'objectifs considérées. En revanche, le rapport de parcelle (Plot ratio) et le rapport de surface de plancher (Floor-area ratio) présentent un impact remarquablement plus faible.

Tableau 4. Principaux facteurs de forme urbaine considérés. Source : (Martins et al., 2016).

Paramètre	Facteur de forme	Floor-area ratio	Plot ratio	Aspect ratio	Verticalité	Distance entre bâtiments	Albedo
Abréviation	SF	FAR	PR	AR	Vert	BS	BD
Unité	/	/	/	/	(m ⁻¹)	(m)	/

En juillet 2015, des chercheurs japonais ont examiné le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire sur la base de la relation entre la morphologie urbaine et les gains de rayonnement solaire, où Osaka (Japon) a été choisi comme site d'étude (Takebayashi et al., 2015). Les gains solaires sur les murs et les toits des bâtiments sont analysés en se concentrant sur l'influence des ombres des bâtiments et des obstacles environnants. Ainsi, l'influence de deux paramètres de morphologie urbaine a été examinée, à savoir le ratio de couverture de bâtiments (*building coverage ratio*) et l'indicateur de caractéristiques de la rue (*street characteristics indicator*). L'outil ArcGIS est utilisé pour calculer le rayonnement solaire pour les toits et les murs des bâtiments de la ville. Les principales conclusions de cette recherche sont les suivantes :

- Le rayonnement solaire total reçu par la ville est réduit à environ 86,3% en raison de l'influence des ombres des bâtiments environnants.
- Le taux de rayonnement solaire sur les murs, les toits et les surfaces au sol est respectivement de 17,5 %, 25,7 % et 56,8 % en moyenne à Osaka.
- Lorsque le ratio de couverture de bâtiments augmente, le rayonnement solaire sur les toits et les murs augmente. Cependant, le rayonnement solaire sur le mur n'augmente pas lorsque le ratio est supérieur à 0,4.

A travers la proposition d'une approche à évaluer le potentiel d'énergie solaire à l'échelle du quartier, (Lobaccaro et al., 2019) ont abordé l'utilisation de l'énergie solaire en tenant compte des effets d'ombrage et des réflexions solaires inter-bâtiments en fonction et des caractéristiques de la morphologie urbaine. L'approche est appliquée sur le quartier de Sluppen situé à Trondheim (Norvège), et elle consiste en une séquence logique de six étapes : (1) Analyse urbaine, (2) Analyse du rayonnement solaire, (3) Cartographie solaire, (4) Traitement de données, (5) Définition des archétypes de construction et des facteurs de réduction, et enfin (6) Potentiel solaire, analyse de la production d'énergie solaire et recommandations technologiques. Plusieurs paramètres de morphologie urbaine ont été examinés, à l'image de la typologie de bâtiments, l'orientation des façades et des toits, la morphologie, H/W, et la hauteur des structures. Daysim, un logiciel basé sur Radiance était utilisé pour l'analyse solaire dans cette étude, ainsi, des analyses annuelles et saisonnières de l'irradiation solaire sont effectuées via Diva-for-Rhino. Les résultats montrent qu'en fonction de paramètres de la morphologie urbaine, les systèmes photovoltaïques peuvent couvrir plus de 40 % des besoins énergétiques du cas étudié. Dans les scénarios analysés, 22 à 53 % des surfaces de façade conviennent à l'installation de systèmes solaires. De plus, les immeubles de grande hauteur, ont un fort potentiel

d'intégration de façade BIPV. Cependant, les bâtiments de faible hauteur sont les typologies de bâtiments les plus appropriées pour l'installation de systèmes photovoltaïques sur les toits. Finalement, les bâtiments en forme de L et en forme de U se caractérisent par une faible aptitude à l'installation d'un système solaire en raison de l'ombrage des bâtiments environnants.

L'investigation des effets de la géométrie des rues sur l'accès solaire des façades adjacents a fut encore une fois l'objet d'une recherche intitulée « *solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland* » établit par (N. Mohajeri et al., 2019). Un total de 1600 rues constituant la trame viaire de la ville de Genève a été étudié. Les paramètres de rues examinés dans cette recherche sont les suivant : l'orientation, la largeur, la longueur, le facteur de vue de ciel (SVF), et le rapport H/W. l'extension « ArcGIS Spatial Analyst » est utilisée pour la quantification de ces paramètres, MATLAB et ArcGIS pour la modélisation du rayonnement solaire reçu par les surfaces des rues et CitySim pour modéliser celui reçu par les façades des bâtiments. Les résultats de la recherche montrent que l'orientation de la rue a un effet important sur le rayonnement solaire annuel reçu par les surfaces de rue et les façades, le rayonnement le plus élevé pour les façades est calculé pour celles faisant face au sud et sud-ouest. Les autres paramètres présentent des valeurs de corrélations modérées avec le rayonnement solaire. De plus, les surfaces de la rue reçoivent le rayonnement le plus élevé lorsque le rapport d'aspect est faible ou le SVF est élevé. Enfin, Les façades qui reçoivent un rayonnement solaire relativement élevé par unité de surface sont celles qui sont associées à des rues larges, de faible rapport d'aspect et avec un SVF élevé.

La densité urbaine est un facteur déterminant de la disponibilité solaire. (Lee et al., 2016) ont publié une étude dont ils examinent la relation entre trois indicateurs de performance solaire (le potentiel PV, le potentiel solaire thermique, et le potentiel solaire passif) avec plusieurs facteurs de conception liés à la densité, comprenant la typologie, la disposition, la couverture du site, le ratio floor-area, et le nombre d'étages (Tableau 6). L'étude a considéré trois sites urbains : (1) Battery Park City, un projet à haute densité à New York ; (2) BO01, un projet de densité moyenne à Malmö, Suède ; et (3) solarCity, un projet à faible densité d'euros à Linz, en Autriche. De plus, des modèles génériques hypothétiques simplifiés de logements de faible, moyenne et grande hauteur ont été créés, utilisant des caractéristiques distinctes pour chaque cas pour une manipulation meilleure de facteurs de densité. Les simulations solaires ont été exécutées à l'aide de cartes de radiations et de DIVA pour Rhino, qui génère une analyse

détaillée de l'irradiation solaire. Les simulations ont mis en évidence la forte influence de la densité sur le potentiel solaire des façades : la quantité de rayonnement solaire qui atteint la façade d'un bâtiment est inversement proportionnelle à la densité. Cependant, la densité a moins d'effet sur le potentiel solaire actif des toitures. Les résultats également indiquent que même avec le même ratio Floor-Area, la variation des combinaisons de facteurs de densité tels que la typologie du bâtiment, la couverture du site et la hauteur modifient le niveau d'accessibilité solaire. Subséquemment, la quantité de rayonnement solaire annuel disponible sur les façades était la plus sensible aux changements de ce ratio et de la typologie. Enfin, le nombre d'étages et la couverture du site n'ont pas montré de relation statistiquement significative avec l'accès solaire.

Tableau 5. Les variables dépendantes et les variables indépendantes de l'analyse statistique. Source : (Lee et al., 2016).

Variables dépendants (indicateurs de potentiel solaire)				Variables indépendants (indicateurs de densité)					
Irradiation solaire annelle	Potentiel PV	Potentiel solaire thermique	Potentiel solaire passif	Typologie				Floor area ratio	Nombre d'étages
				En rangée	En rangée	Cours	Cours		
				Site coverage 23%	Site coverage 23%	Site coverage 23%	Site coverage 23%		

Dans le cadre des travaux menés par l'Institut Européen de Recherche sur l'Energie (EIFER), (Gauthier, 2014) a étudié l'effet de quatorze paramètres morphologiques sur les apports d'énergie solaire sur 12 types de quartiers résidentiels représentatifs en France. Il a montré que les apports solaires des quartiers dépendent de deux paramètres morphologiques : la densité et la compacité.

II. CONCLUSION

Le recours vers l'utilisation de l'énergie solaire incite les planificateurs et les concepteurs à chercher plus rigoureusement à intégrer les technologies solaires sur les sites urbains dans leur planification et leur conception. Compte tenu de ce défi, les chercheurs doivent franchir à mesurer les impacts de divers paramètres de formes urbaines tels que la densité, la compacité, la hauteur moyenne, etc. sur les potentiels solaires des façades et des toitures.

Nous avons démontré à travers une étude bibliométrique et systématique de l'état de l'art les différentes caractéristiques géométriques de la forme urbaine influant le potentiel solaire, et les phénomènes produits par l'interaction entre ces derniers et la radiation solaire. Ce qui est présenté est un ensemble d'idées et solutions proposées par différentes recherches à travers la littérature durant les dix dernières années. Il a pu être démontré que les solutions diffèrent suivant le temps, le climat et la latitude. Néanmoins, la position du soleil et l'état du ciel affectent largement le choix de la forme et doivent être considérés lors de la conception.

Plus largement, l'influence de chaque paramètre morphologique n'est pas étudiée indépendamment dans les études récentes. Ces dernières, adoptent une approche qui prend en compte les interactions entre les paramètres morphologiques urbains. Le développement dans les outils de recherche, en particulier après l'émergence des outils de l'analyse paramétrique et de l'optimisation utilisant des algorithmes avancés a conduit à la possibilité d'étudier l'impact de plusieurs facteurs et avec de multiples objectifs.

La tendance des publications montre qu'il y a eu un nombre important de publications sur le sujet depuis 2014. L'augmentation récente des publications sur ce sujet est conforme aux efforts mondiaux pour réaliser la transition énergétique durable, qui est un élément majeur des programmes gouvernementaux dans la plupart des pays du monde. En effet, malgré la différence dans les objectifs, les questions de recherche, les domaines et les cas d'études que représente le corpus analysé, la tendance énergétique est le principal concept sur lequel ce domaine de recherche est construit.

L'analyse thématique a montré qu'à l'exception de quelques modestes tentatives, peu de recherches ont investiguées la forme urbaine dans les climats semi-aride. L'avantage est toujours pris par les deux cas extrêmes : la maximisation des gains solaires à cause des grands besoins en matière d'énergie solaire propre dans le climat froid, ou encore la minimisation des apports solaire d'été dans le climat chaud et aride. Dans le climat semi-aride, la recherche doit tenir en compte les deux cas opposés : bénéficier de l'énergie solaire au maximum en hiver, et se protéger des rayons solaires indésirables avant qu'elles frappent l'enveloppe bâti en été. Une

dualité qui pose un sérieux problème aux concepteurs et suppose d'être abordée avec des outils efficaces.

Chapitre 04,

Présentation du Site

Et Modélisation Numérique du

Corpus d'Etude

Table des matières

I.	INTRODUCTION	79
II.	MOTIVATION ET CRITERE DE CHOIX DE LA VILLE	80
II.1.	Choix de la ville	80
II.1.1.	Le potentiel solaire en Algérie	80
II.1.2.	Le climat en Algérie	83
III.	PRESENTATION DE LA VILLE DE BATNA.....	88
III.1.	Situation géographique.....	88
III.2.	Population de la wilaya et de la commune	89
III.3.	Contexte et spécificités climatiques.....	89
III.4.	Contexte environnemental et durabilité	91
III.4.1.	Consommation énergétique.....	91
III.4.2.	Emissions de gaz à effet de serre.....	93
IV.	QUARTIERS ET SECTEURS URBAINS DE LA VILLE	94
V.	LES BATIMENTS RESIDENTIELS COLLECTIFS A BATNA.....	96
VI.	RECUEIL DE DONNEES ET SELECTION D'ECHANTILLONS REPRESENTATIFS	97
VI.1.	Collecte et analyse des données	98
VI.2.	Échelle typologique	99
VI.3.	Echantillonnage	100
VII.	MODELISATION NUMERIQUE 3D DU CORPUS D'ETUDE.....	101
VII.1.	Modélisation de terrain	102
VII.2.	Modélisation de façades et de toitures de bâtiments	103
VIII.	CONCLUSION.....	104

I. INTRODUCTION

Le présent chapitre consiste à présenter les étapes de l'établissement et la détermination du corpus d'étude sur lequel sera menée les études morphologique et solaire. Ce dernier doit fournir une typologie urbaine représentative du parc résidentiel collectif du contexte étudié. Après une brève présentation du contexte d'étude et les raisons pour lesquelles nous avons choisi la ville de Batna, un diagnostic sur l'état de l'habitat collectif à Batna va être dressé. L'observation, la recherche documentaire ainsi qu'un ensemble techniques employées pour atteindre cet objectif vont être décrites. Nous figurons alors les objectifs de la typologie, et définirons la méthodologie employée pour la créer. Ensuite, déterminer l'échelle appropriée pour des analyses solaires et morphologiques.

Les techniques de modélisation 3D retenues seront également décrites dans ce chapitre. Ces technologies permettent désormais de restituer visuellement des environnements architecturaux et urbains de manière très fidèle. Les modèles virtuels ainsi créés représentent des objets dans les trois dimensions de l'espace et peuvent contenir toutes les propriétés nécessaires à leur visualisation réaliste (notamment couleur et texture, mais aussi éclairage ou effets atmosphériques tels que phénomènes d'ensoleillement, flux d'air, etc.). Nous détaillerons la démarche que nous adoptons pour créer une maquette numérique de l'ensemble des configurations urbaines sélectionnées.

II. MOTIVATION ET CRITERE DE CHOIX DE LA VILLE

La présente thèse s'inscrit dans une vision ciblant à participer à la nouvelle ère de l'énergie durable. L'idée est de trouver la meilleure configuration urbaine résidentiel durable en évaluant le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire. Pour atteindre cet objectif, il faut définir un ensemble de conditions qui doivent être réunies dans deux éléments fondamentaux : la ville, qui représente le contexte de l'étude, et les quartiers résidentiels collectifs qui représente l'objet d'étude.

II.1. Choix de la ville

Pour choisir une ville en Algérie comprenant un échantillon de référence de configurations urbaines nécessaire pour l'analyse solaire, nous avons jugé nécessaire d'étudier deux critères de sélection : le climat et le gisement solaire disponible dans toutes les villes algériennes (Figure 1). Le but est de choisir en premier lieu des villes qui reçoivent la plus grande quantité de rayonnement solaire ou du moins la quantité minimale qui peut assurer un chauffage passif des bâtiments ainsi qu'un meilleur rendement de technologies solaires actives. En deuxième lieu, d'extraire les villes qui se caractérisent par un climat froid en hiver et chaud en été afin de pousser au maximum l'étude morpho-solaire. En d'autres termes, l'effet saisonnier sur la disponibilité solaire sera extrême et va permettre de dégager explicitement les paramètres de la morphologie urbaine qui influence le plus la disponibilité solaire.

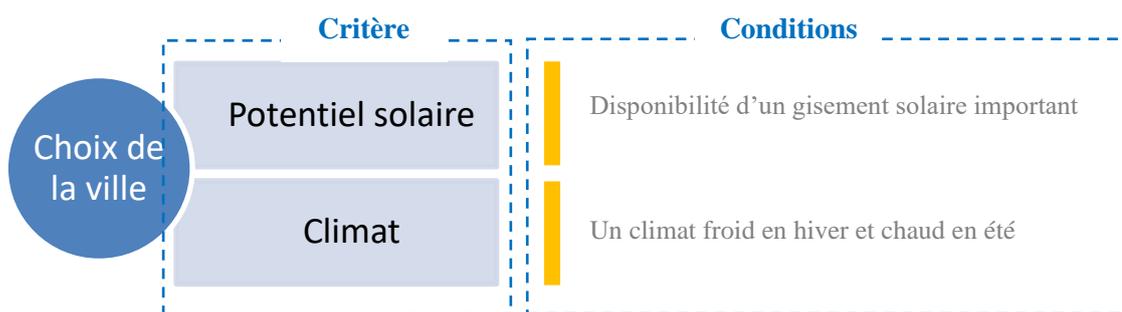


Figure 1. Les critères de choix de ville. Source (auteur).

II.1.1. Le potentiel solaire en Algérie

Le potentiel solaire est la quantité totale d'énergie issue du rayonnement solaire en (kWh) reçue sur une surface donnée en (m²) pendant une période donnée à un endroit spécifique. Il peut également être défini par la durée d'ensoleillement, ou durée de l'insolation

effective, qui est la durée temporelle pendant laquelle un lieu est soumis à l'insolation effective, c'est-à-dire soumis à un rayonnement solaire suffisamment intense et puissant pour produire des ombres bien distinctes (Bouzig et al., 2015). Il existe d'énormes réserves d'énergie solaire dans tous les bassins méditerranéens, en Afrique du Nord et surtout au sud de l'Algérie. Le potentiel de cette source d'énergie est le plus important dans le sud algérien (Figure 2) (Hassaine & Mraoui, 2017). La durée moyenne d'ensoleillement en Algérie dépasse 2 000 heures par an, atteignant près de 3 900 heures dans le désert du Sahara. Il a été prouvé qu'à lui seul, le potentiel solaire du Sahara pourrait couvrir tous les besoins d'énergie dans le monde si l'on mettait la quantité nécessaire d'investissements dans ce domaine (Abada & Bouharkat, 2018).

Les taux d'irradiation solaire calculés par le centre de développement des énergies renouvelables (CDER), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 5 à 8 KWh/m²/jour comme moyenne d'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale (Tableau 1 et Figure 3), soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2650 KWh/m²/an au Sud (Kharchi et al., 2019). En revanche, les meilleurs taux d'ensoleillement en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe (Figure 2). La moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface verticale varie selon l'orientation entre 4.9 KWh/m²/jour et 5.7 KWh/m²/jour sur les surfaces orientées sud, 3.5 KWh/m²/jour et 4.5 KWh/m²/jour sur les surfaces orientées est et ouest, et 3.7 KWh/m²/jour et 4.9 KWh/m²/jour sur les surfaces orientées sud-est et sud-ouest. La quantité d'énergie solaire reçue sur une surface horizontale augmente au fur et à mesure que l'on va vers le sud. Cependant, sur une surface verticale orientée sud, sud-est, ou sud-ouest, ce sont les villes des haut-plateaux qui enregistrent les valeurs les plus hautes (Figures 3 et 4 et Tableau 1).

En conclusion, On peut dire que toutes les villes algériennes reçoivent des quantités d'énergie solaire qui les qualifient pour exploiter les différentes technologies solaires avec une pleine efficacité, et que les villes situées dans le Sahara et les hauts plateaux sont les plus appropriées par rapport aux villes du nord. Ce potentiel d'énergie solaire unique pourrait être un atout pour une stratégie d'utilisation de l'énergie plus durable. En contrepartie, L'énergie solaire est la ressource naturelle la plus abondante en Algérie. Il devient impératif d'exploiter cette importante ressource.

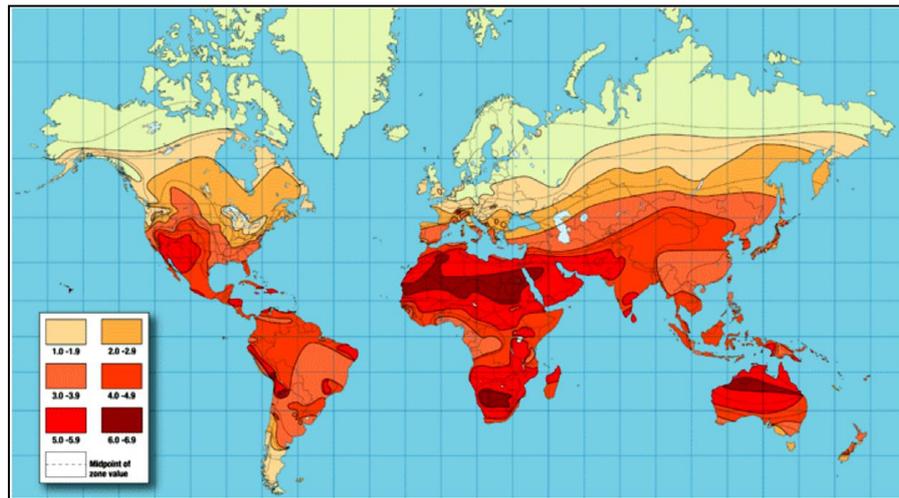


Figure 2. Carte du monde de l'insolation solaire. Source : (Abada & Bouharkat, 2018).

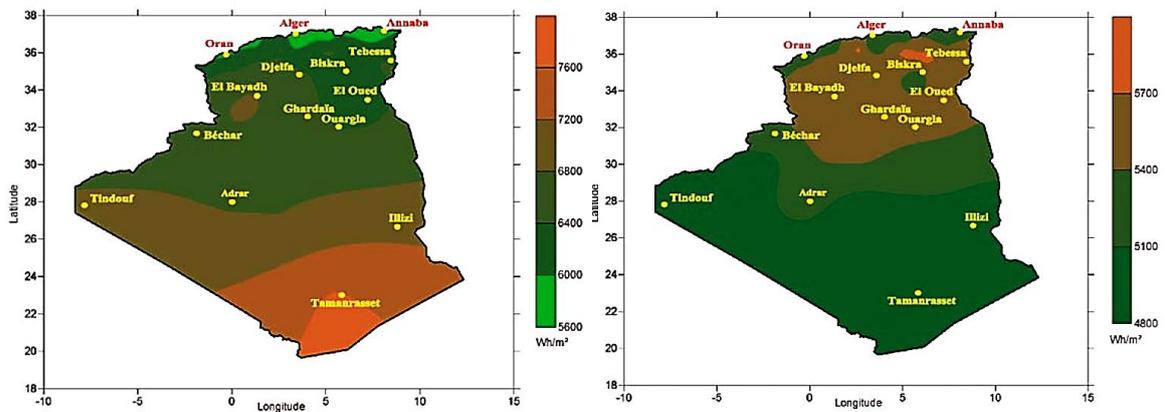


Figure 3. (À gauche) Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, (à droite) Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale sud. Cas d'un ciel totalement clair. Source : (Yaiche & Bouhanik, 2002)

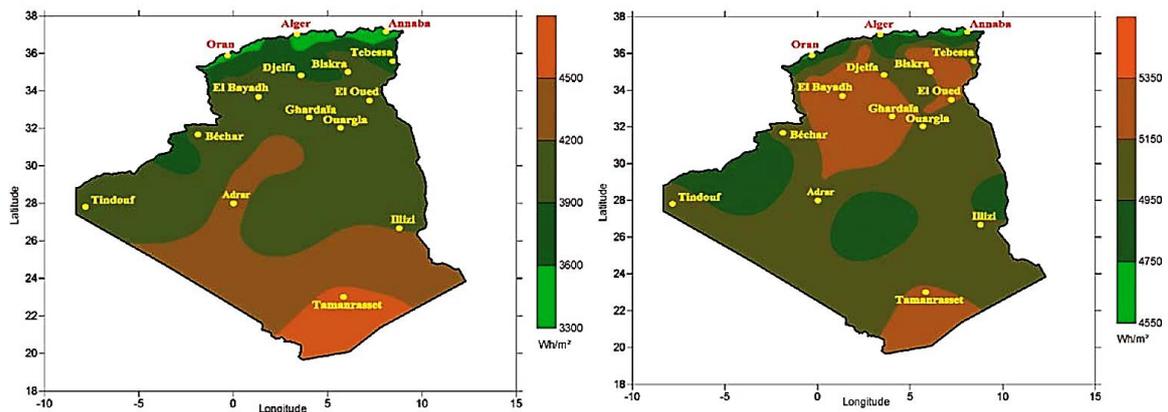


Figure 4. (À gauche) Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale Est et Ouest, (à droite) Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale Sud-Est et Sud-Ouest. Cas d'un ciel totalement clair. Source : (Yaiche & Bouhanik, 2002)

Tableau 1. Estimation de l'irradiation solaire globale sur le territoire national mesurée sur 11 années (1992-2002). Source : (Yaiche & Bouhanik, 2002)

Site	Moyenne annuelle de la durée d'insolation (h)	Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale (wh/m ²)	Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale sud (wh/m ²)	Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale Est et Ouest (wh/m ²)	Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée verticale sud-est et sud-ouest (wh/m ²)
Adrar	11.83	6674	5203	4267	4509
Annaba	11.75	5876	5285	3502	3849
Batna	11.76	6392	5798	4020	4407
B.B.Arreiridj	11.76	6412	5716	3897	4320
Béchar	11.8	6760	5259	3917	4464
Béjaia	11.75	5886	5277	3503	3765
Biskra	11.77	6103	5190	3879	4555
Chlef	11.76	6008	5320	3574	3802
Constantine	11.76	6280	5617	3800	4078
Djanet	11.85	7373	4959	4422	4904
Djelfa	11.77	6690	5681	4019	4348
El-Bayadh	11.78	6822	5689	4088	4287
El-Oued	11.78	6206	5544	4054	4733
Ghardaia	11.79	6513	5512	4097	4655
Guelma	11.76	6027	5385	3604	3922
Mascara	11.76	6234	5451	3722	3986
Médéa	11.76	6440	5783	3933	4189
Mostaghanem	11.76	6035	5294	3577	3793
M'sila	11.76	6211	5440	3708	4288
Oran	11.76	6032	5250	3562	3927
Saida	11.77	6438	5530	3846	4138
Sétif	11.76	6451	5776	3936	4447
Sidi Belabbes	11.77	6271	5420	3730	4132
Skikda	11.75	5871	5288	3500	3850
Souk Ahras	11.76	6273	5610	3794	3978
Tamanrasset	11.86	7655	4928	4584	4641
Tébessa	11.77	6422	5610	3865	4179
Tindouf	11.83	6868	5095	4167	4508
Tlemcen	11.77	6170	5288	3638	3968
Tougourt	11.79	6255	5526	4075	4732

II.1.2. Le climat en Algérie

Le climat en Algérie est connu pour sa diversité, le climat nordique (zone côtière) est similaire à celui des autres pays méditerranéens. Plus au Sud, le climat commence à changer avec des hivers plus froids et des étés plus chauds (Ketfi et al., 2017). A travers la recherche bibliographique effectuée sur les travaux et écrits réalisés sur la définition et la localisation des zones climatiques en Algérie, nous pouvons constater qu'il y a très peu de recherches sur ce sujet. Trois d'entre elles sont résumées ci-après.

La plus ancienne est la classification de Köppen-Geiger fondée sur les précipitations et les températures (Peel et al., 2007). Cette classification répartie l'Algérie en cinq zones climatiques comme suit :

1. Partie nord qui possède un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs mais avec des hivers doux et pluvieux. Alger, Oran, Annaba, Skikda, Bejaia, Jijel, Mostaganem et Tlemcen sont les principales villes qui se situent dans cette zone (Figure 5).
2. La partie sud avec un climat désertique, caractérisé par la chaleur et la sécheresse toute l'année, ce qui contribue à une aridité très prononcée. Cette zone contient plusieurs grandes villes tel que : Bechar, Ouargla, El-Oued, Ghardaïa, Adrar... etc.
3. Entre ces deux zones figurent encore trois autres classes climatiques qui répondent au mieux aux critères de sélection : Aride désert froid (Bwk), Aride steppe chaud (BSh) et aride steppe froid (BSk). La première classe qui couvre certaines parties (Sud) de Djelfa, Laghouat, El-Bayad et Naama est caractérisée par une sécheresse et une aridité permanente qui dure toute l'année. Les étés sont chauds parfois très chaud et les hivers sont froid. Les deux dernières représentent une zone subdésertique, caractérisée par une saison sèche s'étendant sur la plus grande partie de l'année et une saison humide avec de faibles précipitations. Elle peut être chaude (BSh) comme dans les villes de Khenchela et Tebessa, ou froide (BSk), comme dans Tiaret, Saida et certaines parties (Nord) de Djelfa, Laghouat, El-Bayad et Naama.

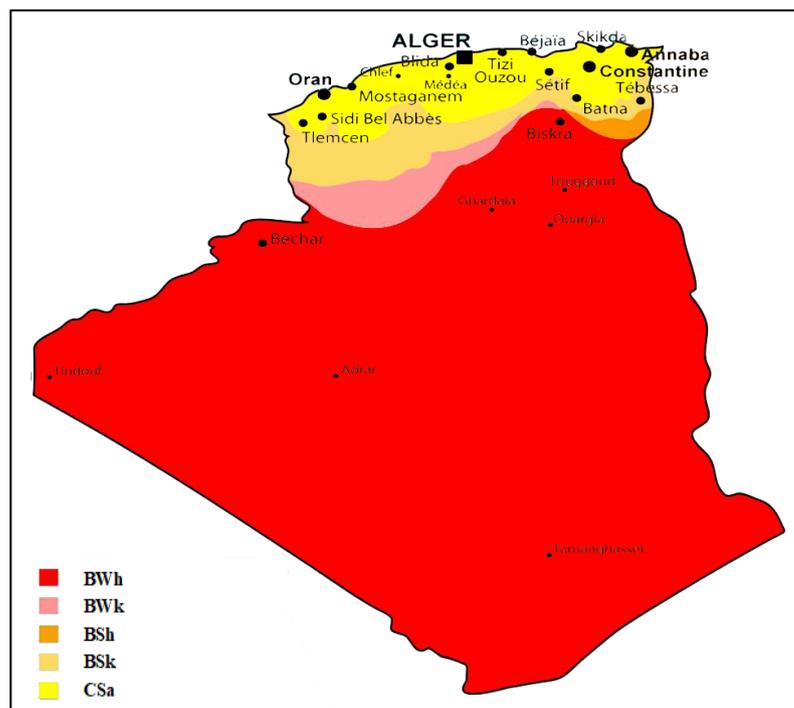


Figure 5. Carte de climat de l'Algérie selon la classification de Köppen-Geiger. Source : (Wikipedia, nd)

La deuxième classification a été présentée par Borel (1962), qui a défini pour l'Algérie trois zones climatiques avec une sous zone au Nord (A, B, B', et C), et trois zones au Sud (D1, D2, D3). Il a pris en compte l'altitude et la présence des montagnes dans cette classification. Des descriptions de zones semblablement a 'inférieure à 500 m', 'compris entre 500 à 1 000 m' et 'supérieur de 1 000 m', sont fréquemment utilisées dans la définition des zones de cette classification. Un aperçu sur les différentes classes établies par cette classification est présenté dans le (Tableau 2).

Tableau 2. Récapitulatif des zones climatiques en Algérie selon Borel. Source : (A. Sami et al, 2000, p. 28). Réadapté par l'auteur.

Zones climatiques	Situation	Description et Critères
Nord	A	Comprend le bord de la mer. Climat méditerranéen maritime Des jours estivaux plus chauds que d'autres.
	B	Derrière le rivage de la mer, les vallées, entre-les chaînes côtières et l'Atlas Tellien. Influence de la mer. Un climat estival variable.
	B'	Entre la chaîne Auressienne et les montagnes de Dahra et des Braz. Une influence de la mer amoindrie par les écrans montagneux. Un climat variable.
	C	Comprend les hauts plateaux entre l'Atlas tellien et celui Saharien. Les altitudes sont de 500 m et plus. Influence maritime faible.
Sud	D1	Comprend le Sahara de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°. Climat désertique saharien Influence de la latitude
	D2	Comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°. Hiver plus froid que D1. Été plus chauds que D1.
	D3	Comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud. Hiver plus froid que D2. Été plus chauds que D2.

La dernière classification, dans laquelle cinq zones climatiques ont été proposées pour les périodes estivales et trois grandes zones pour la période hivernale (Figure 6), a été rapportée en 1993 par le CNERIB (Algérie).

Selon cette classification, les trois grandes zones climatiques d'hivers sont :

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer ;
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude ;
- La zone H3 subit l'influence de la latitude ;

Lorsque le facteur de l'altitude intervient, nous acquérons sept (7) sous zones qui sont :

- H1a : littoral mer, dont l'altitude est inférieure à 500m : Caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles.
- H1b : arrière littoral montagne. Avec une altitude supérieure à 500m, cette zone est caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.

- H2a : atlas tellien- montagne, $1000 < \text{altitude} < 1500\text{m}$: caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important.
- H2b : atlas saharien montagne, altitude $> 1500\text{m}$: caractérisée par des hivers encore plus froids.
- H3a : présaharien, $500\text{m} < \text{altitude} < 1000\text{m}$: caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.
- H3b : Sahara, $200\text{m} < \text{altitude} < 500\text{m}$: caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne.
- H3c : Hoggar, altitude $> 500\text{m}$: caractérisée par des hivers très froids analogues à la zone H3a, mais qui persiste même durant la journée.

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été :

- La zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer ;
- La zone E2 subit l'influence de l'altitude ;
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude ;

L'appariement des régions d'hiver les plus froides (H1b et H2b) et des régions d'été les plus chaudes (E2, E3, E4, E5) selon cette classification

En faisant correspondre les régions d'hiver les plus froides (H1b et H2b) et les régions d'été les plus chaudes (E2, E3, E4, E5) selon cette classification, on obtient deux régions qui semblent appropriées à notre étude selon les critères climatiques présélectionnés :

- La première région (H1b, E2) comprend sept villes : Batna, Chlef, Bouira, Guelma, Médéa, El-Taraf, Rélizane.
- La deuxième région (H2b, E2) comprend trois villes sont : Tébessa, Djelfa, El-Bayad.

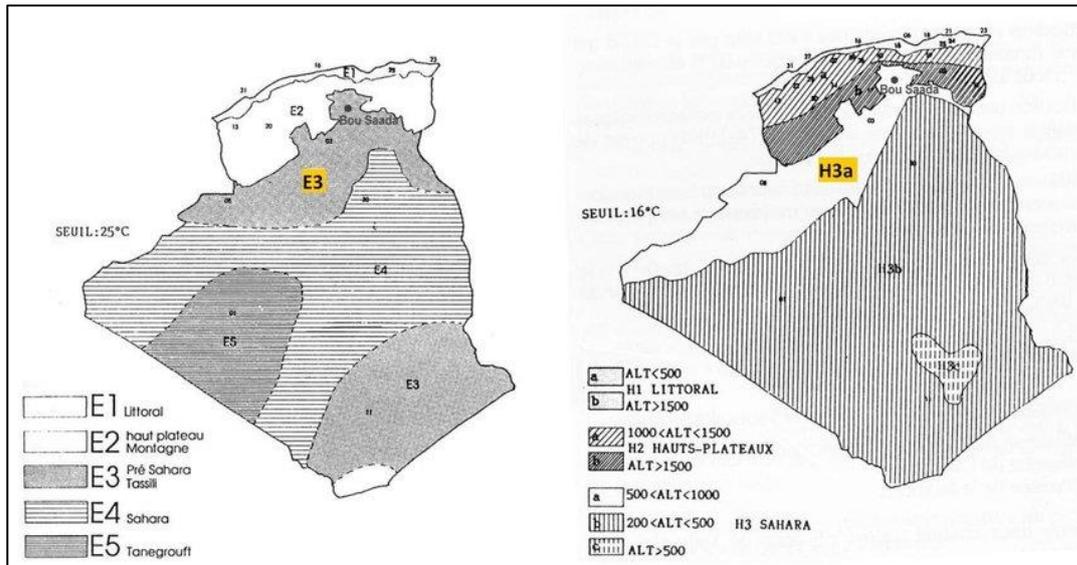


Figure 6. Carte de climat de l'Algérie selon la classification de CNERIB. Source : (Le ministère de l'habitat, 1993).

Dix villes sont dégagées des deux critères de sélection solaire et climatique. Si l'on ajoute quelques conditions liées aux quartiers résidentiels collectifs dans ces villes qui se résument dans ce qui suit :

- L'existence des obstacles physiques ou naturels qui peuvent être un masque solaire permanent partiel ou global.
- La variété géométrique des quartiers résidentiels collectifs. On parle de la variété de la forme et de la hauteur des bâtiments, d'inclinaison et d'orientations des toitures, de largeur et d'orientation des rues, présence et absence des cours et surtout une variété de densité bâtie.
- La disponibilité des informations nécessaires pour la modélisation 3D. Tous les documents graphiques et numériques qui font la description plane des éléments de la forme urbaine (plans de masse, plans de situation, photos aériennes, plans d'aménagement...etc.) et ceux qui traduisent la troisième dimension tels que les élévations, les perspectives, les axonométries ou encore la possibilité de prise de photos est primordiale pour la création du modèle 3D.
- Il est recommandé que la ville soit enregistrée dans les différents programmes nationaux et internationaux qui ont été élaborés pour mettre en œuvre l'intégration des énergies renouvelables en général et l'énergie solaire en particulier.

En fonction de ces critères, Et après l'observation et l'analyse des cartes des villes présélectionnées, la ville de Batna a été sélectionnée pour qu'elle constitue le contexte dans

lequel s'inscrit cette recherche. Les configurations urbaines résidentielles collectives dans cette ville ont été retenue comme cas d'étude.

III. PRESENTATION DE LA VILLE DE BATNA

III.1. Situation géographique

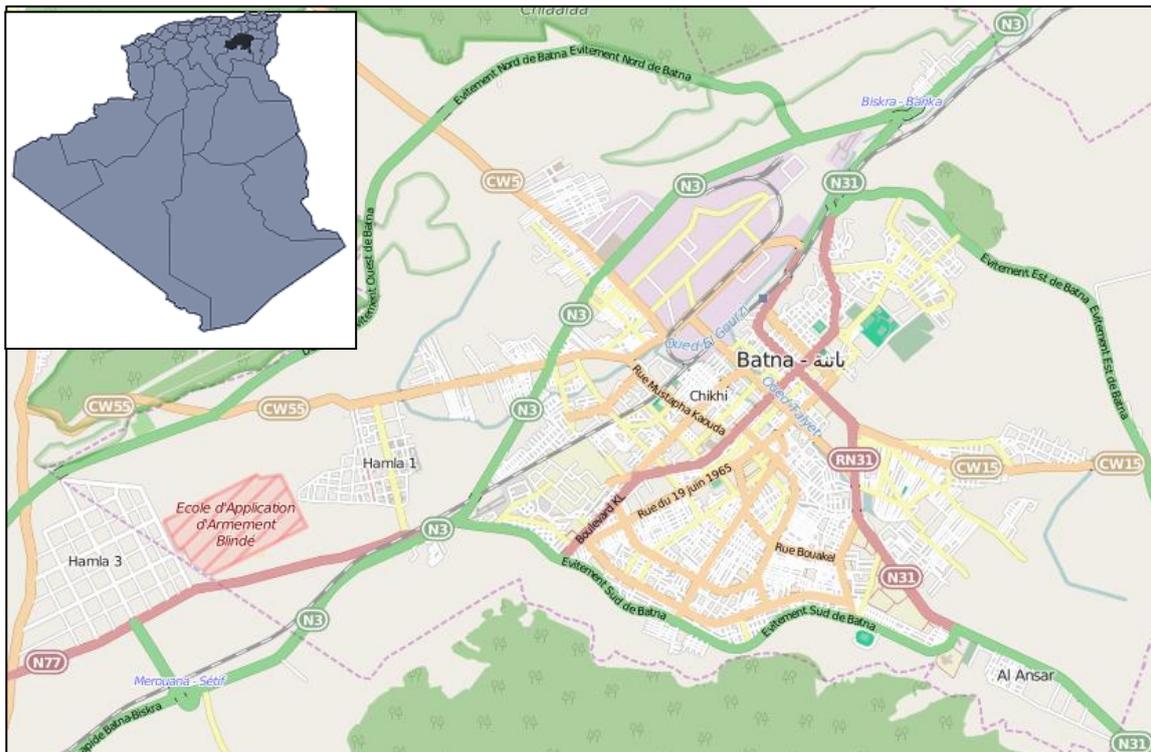


Figure 7. Situation géographique de la ville de Batna. Source : (OpenStreetMap, nd)

Batna, la capitale de la région des Aurès est située entre $35^{\circ} 34'$ et $35^{\circ} 31'$ de latitude Nord, et $6^{\circ} 7'$ et $6^{\circ} 13'$ de longitude Est, à 410 Km au sud-est de la capitale d'Alger (Figure 7). Elle est délimitée au nord par la Wilaya de Mila ; Au nord-est par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi ; A l'est par la Wilaya de Khenchela ; Au sud par la Wilaya de Biskra ; A l'ouest par la Wilaya de M'Sila ; Au nord-ouest, par la wilaya de Sétif. La ville couvre une superficie totale de 2 852 hectares. Elle est située au milieu d'un plateau entouré de deux Atlas (Tellien et saharien) dont les altitudes varient de 714 m à 2 192 m, où 47 % du terrain ne dépasse pas 10 % de pente (Bendib et al., 2016). Cette situation représente la particularité physique principale de la ville, et détermine les caractères du climat et les conditions de vie humaine (Mahaya, 2014).

III.2. Population de la wilaya et de la commune

Le dernier recensement de la population algérienne remonte à 2008 (RGPH, 2008). Depuis cette année, la population des villes en Algérie est inconnue. Parallèlement, l'Office National des Statistiques (ONS) propose une estimation de taux d'accroissement démographique de 1.6% au niveau de la wilaya de Batna. En supposant le développement d'une communauté comparable à celle de Wilaya, les estimations démographiques du Tableau 3 sont obtenues. Les données de 2012 à 2022 sont des estimations.

Tableau 3. Estimations démographiques de la ville de Batna (2008-2022). Source : (ONS, 2008)

Echelle	2008	2012	2016	2020	2022
Wilaya	1 141 648	1 245 315	1 358 638	1 482 275	1 617 162
Commune	278 560	347 312	433 098	540 073	673 471

La population à Batna en 2022 est donc estimée à 673471 habitants, soit 40% de la population de la wilaya, avec un taux d'urbanisation rapide.

III.3. Contexte et spécificités climatiques

Située au nord-est de l'Algérie à 1048m d'altitude, Batna a un climat semi-aride froid (classification climatique de Köppen BSk), avec des étés chauds et secs et des hivers froids et humides avec des chutes de neige possibles. Juillet est le mois le plus sec, avec 13 mm de précipitations, tandis que janvier a les précipitations les plus élevées de 53 mm (Figure 8).

Les données climatiques de Meteonorm (Remund et al., 2020) décrivent Batna comme un climat continental avec une température annuelle moyenne de 21°C. La température basse moyenne en janvier est de 1°C à 16°C en juillet, et la température haute moyenne en juillet, le mois le plus chaud, peut atteindre 33°C (Figure 9). Le degré-jour de chauffe (en fahrenheit) basés sur les températures moyennes des 5 ans (2008 à 2012) atteint la valeur de 2544 si la température de base est de 60 °f (environ 15,5 °C), cette valeur peut augmenter jusqu'à 3600 avec une température de base de 65 °f (environ 18,3 °C).



Figure 8. Précipitations dans la ville de Batna. Source : (Meteonorm, 2020)

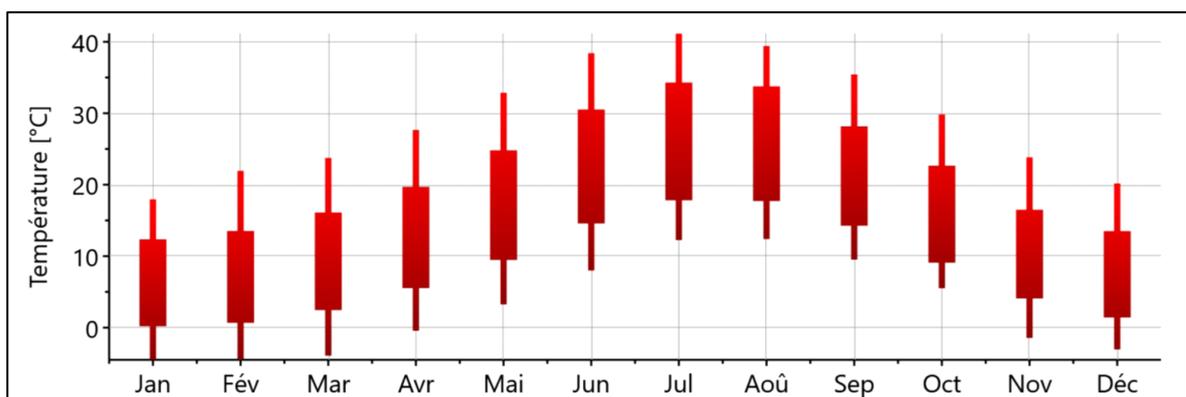


Figure 9. Température mensuelle dans la ville de Batna. Source : (Meteonorm, 2020)

Batna bénéficie d'un ensoleillement considérable surtout durant la dernière décennie. La durée d'insolation atteint 3000 heures par an, et l'énergie reçue sur une surface horizontale s'élève à 1700 KWh/m²/an (Bouzid et al., 2015) (Figure 10). Selon les estimations du ministère d'énergie et des mines (The municipality of Batna, 2015), l'énergie solaire journalière dans cette wilaya peut arriver jusqu'à 9KWh/m²/jour sur un plan horizontal au mois de juillet. Toutes ces valeurs fournissent un aperçu clair sur les effets de l'ensoleillement, surtout pendant les périodes chaudes.

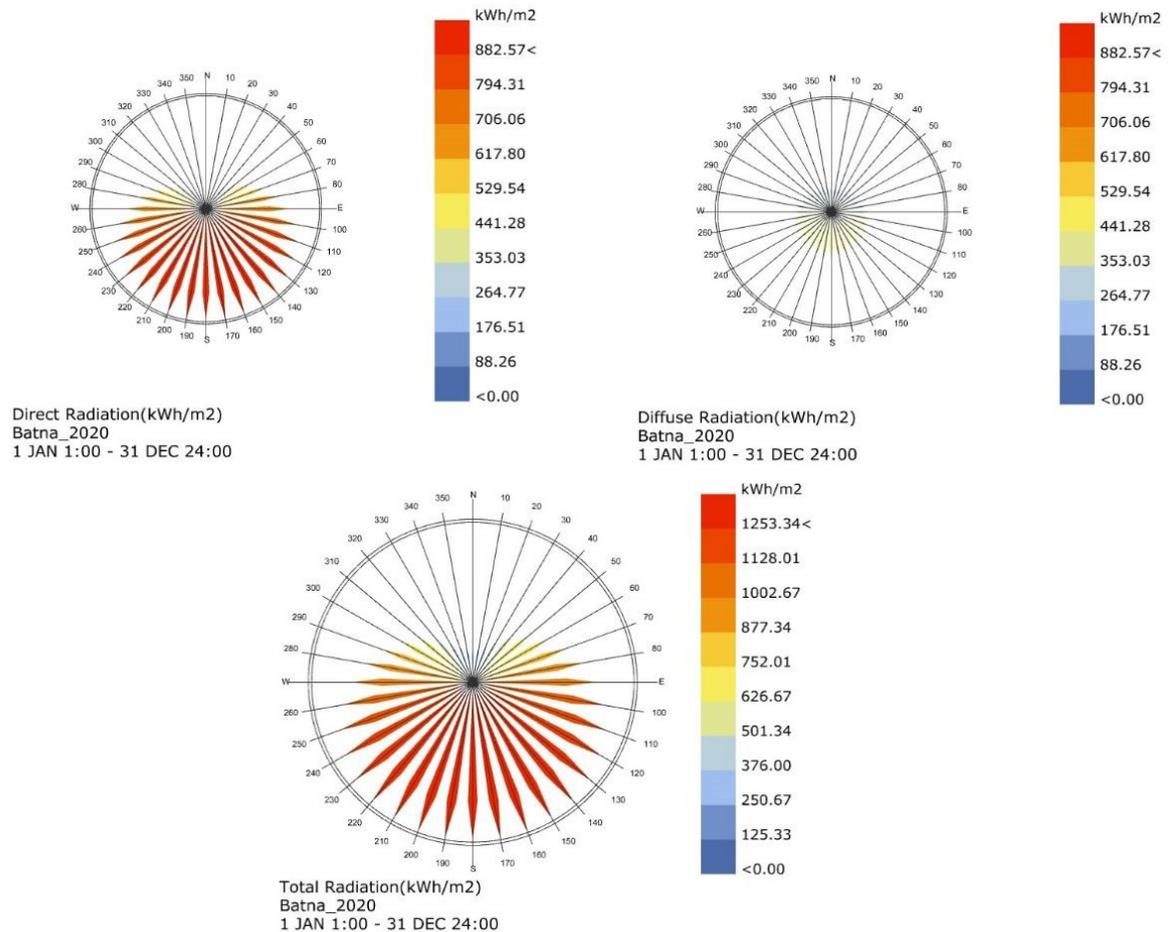


Figure 10. Les radiations solaires annuelles directes, diffuses, et globales dans la ville de Batna.
Source(auteur)

III.4. Contexte environnemental et durabilité

III.4.1. Consommation énergétique

La société de distribution de gaz naturel et d'électricité, la SONELGAZ, a fourni des données relativement détaillées sur la distribution d'électricité et de gaz en 2014 au niveau de la ville de Batna pour les bâtiments résidentiels, les bâtiments tertiaires, l'industrie et d'autres domaines en détaillant les niveaux de pression et de tension. La catégorie de consommateurs retenue pour les immeubles résidentiels est dite « Abonnés ordinaires », qui peut notamment contenir quelques abonnés tertiaires, dont la proportion sera inférieure à 3 %.

La consommation énergétique de la ville de Batna est estimée à (4695 GWh/an) en 2014, soit environ (12,1 MWh/an/personne), équivalent de 7,5 barils de pétrole par an et par personne (The municipality of Batna, 2015). Bien plus élevée que la moyenne nationale

qui est de l'ordre de (15.44 MWh/an/personne) (The world bank, n.d.). Cette surconsommation peut s'expliquer par le besoin de chauffage plus important à Batna à cause du climat très froid en hiver. C'est le secteur résidentiel qui domine cette consommation en affichant la plus grande valeur de (2595 MWh/an), suivi par les secteurs de transport (1359 MWh/an), de l'industrie (542 MWh/an), et des bâtiments tertiaires (189 MWh/an) respectivement (Figure 11).

L'analyse des valeurs estimées de la consommation énergétique par type d'énergie présentées dans la Figure 12 montre une très forte consommation de gaz naturel pour les secteurs résidentiel, industriel, et tertiaire qui explique la différence de consommation avec la moyenne nationale. Cependant, l'essence et le diesel sont les énergies les plus consommées dans le secteur de transport (The municipality of Batna, 2015).

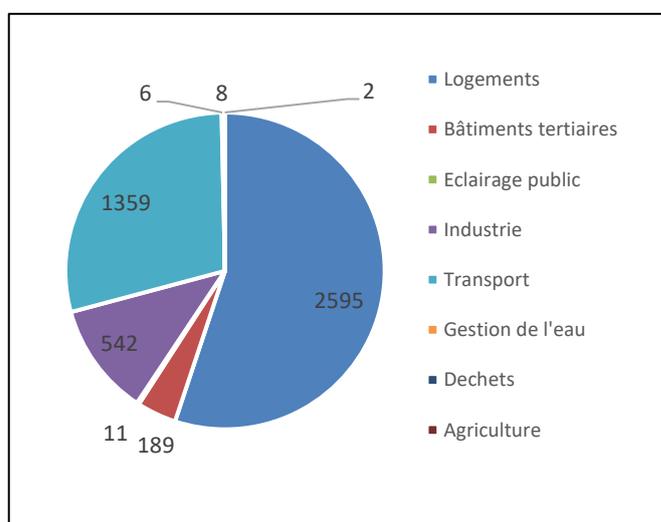


Figure 11. Consommation d'énergie en (GWh/an) par secteur à Batna (2014). Source : (municipality of Batna, 2015)

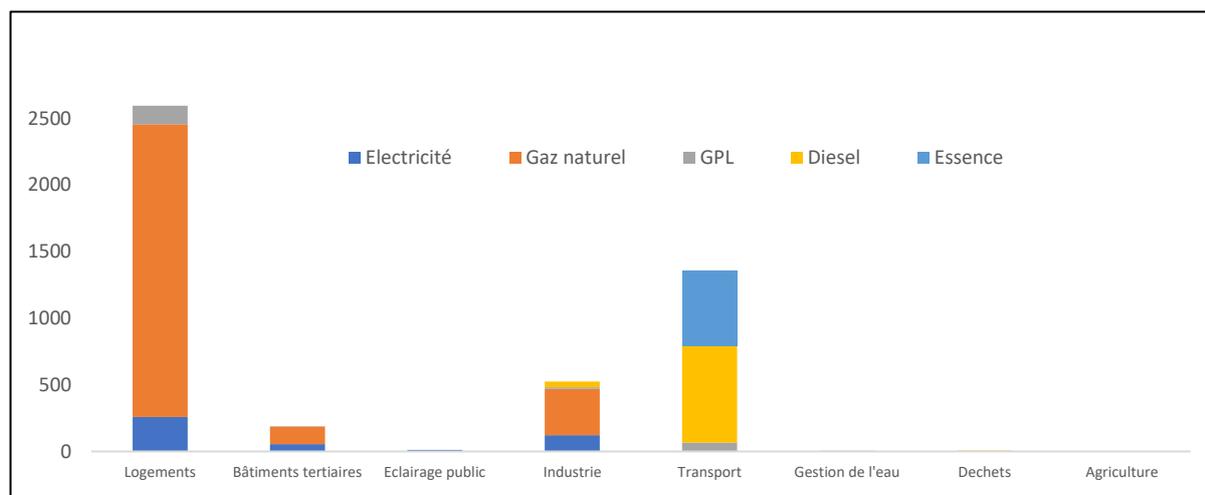


Figure 12. Consommation d'énergie en (GWh/an) à Batna par type d'énergie (2014). Source : (municipality of Batna, 2015)

L'utilisation des énergies renouvelables est quasiment inexistante dans la ville. Les entreprises ayant des projets de fabrication et de commercialisation des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques sont très rare bien que tous les éléments de base pour la création d'un tel marché soient réunis. La croissance de la demande d'énergie des ménages, la crise énergétique globale, la chute des prix du pétrole et du gaz, et la probable augmentation des tarifs de l'énergie en Algérie.

Face à cette situation, différents programmes nationaux ont été élaborés pour mettre en œuvre l'intégration des énergies renouvelables, comme le « Programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030 (PNDEREE 2030) et le Programme national de recherche (PNR) » (DGRSDT, 2021). L'un des principaux objectifs de ces programmes est d'intégrer progressivement des mesures d'efficacité énergétique et de réduire la consommation d'énergie de 9 %. De plus, il contribuera à diversifier les filières de production d'électricité.

III.4.2. Emissions de gaz à effet de serre

Selon le dernier rapport de l'agence des Nations Unies pour le développement urbain (UN-Habitat Cities and climate change), les villes sont les plus importantes sources de pollution sur la planète. Elles sont à l'origine de 70% des émissions de gaz à effet de serre (GES), et ce bien qu'elles n'occupent que 2% des terres. Le secteur du logement représente 37 % des émissions (Soave, 2022).

Les émissions de Gaz à effet de serre dans la ville de Batna sont estimées à (1513 kteqCO₂/an) en 2014, soit environ (3,9 teqCO₂/an/habitant), équivalent à 20000 km en voiture. La différence avec les émissions moyennes par habitant en Algérie (3,3 teqCO₂/an/hab) s'explique une fois de plus par le chauffage des bâtiments, et par le fort transit de poids lourds dans l'agglomération. La répartition des émissions par secteur illustrée dans la [Figure 13](#) démontre que le secteur résidentiel est encore une fois le secteur qui affiche les valeurs les plus hautes d'environ (715 kteqCO₂/an). Le deuxième secteur le plus polluant dans la ville est le secteur de transport (452 kteqCO₂/an), suivi par l'industrie (171 kteqCO₂/an), les déchets (91 kteqCO₂/an), et les bâtiments tertiaires (63 kteqCO₂/an) ([The municipality of Batna, 2015](#)).

L'analyse des valeurs estimées des émissions de GES par type d'énergie présentées dans la [Figure 14](#) montre que seule l'utilisation de gaz naturel pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire dans le résidentiel génère 33% des émissions de la ville. Les carburants sont

responsables d'environ (449 kteqCO₂/an) de pollutions. Ce sont le deuxième type d'énergie le plus polluant à Batna.

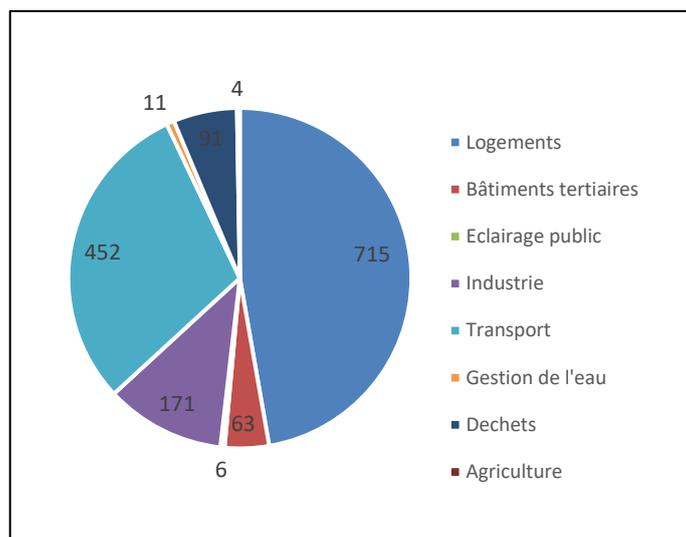


Figure 13. Emission de gaz à effet de serre à Batna (2014) en (kteqCO₂/an). Source : (municipality of Batna, 2015)

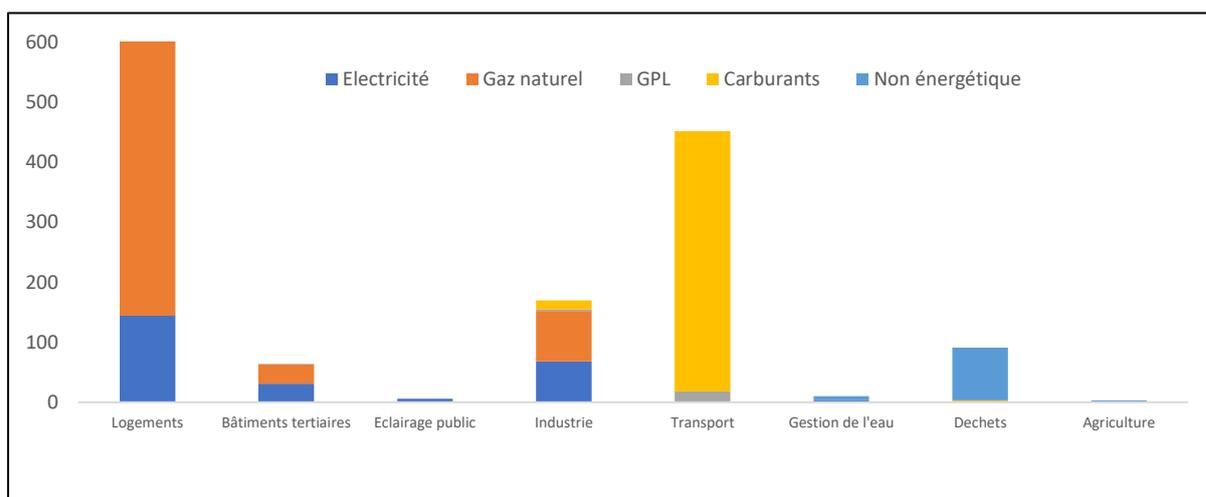


Figure 14. Les émissions de GES à Batna par type d'énergie (2014) en (kteqCO₂/an). Source : (municipality of Batna, 2015)

IV. QUARTIERS ET SECTEURS URBAINS DE LA VILLE

Depuis sa création, Batna est composée de la ville coloniale et la ville arabe. Les deux villes ont été séparées par l'Oued et se sont développées selon leur propre dynamique de développement. Ce sont deux types d'urbanisation différents, et malgré les changements qui ont marqué les deux types, ces derniers sont encore bien repérés jusqu'aujourd'hui en raison des différentes formes urbaines qui composent leurs quartiers (Mahaya, 2014).

Au cours des quatre dernières décennies, la surface de la ville s'est amplement étendue, passant de 483,43 hectares en 1972 à plus de 1 331 en 1987 et de 2 056,41 hectares en 2001 à plus de 2 852 en 2013. L'analyse de la dynamique urbaine montre que cette

superficie a augmenté à un rythme plus rapide (7,87 %) que la population (3,86 %) (Bendib et al., 2016).

Comme le montre la [Figure 15](#), la ville de Batna est divisée en 12 districts urbains. Le quartier historique au cœur de la ville est composé principalement de l'ancien quartier colonial (français), et l'ancien village nègre du nom de Z'mala. La partie coloniale a été construite suivant une trame en damier d'une rotation de 45° du Nord géographique. Les bâtiments en maçonnerie de pierre se présentent sous forme de blocs et pavillons avec des toits inclinés. Le centre-ville partage ces caractéristiques avec deux autres secteurs : Bouzourane et les vieux quartiers situés au nord-est, à l'est et au sud-ouest du centre-ville. En raison de la densité moyenne des bâtiments et de la grande largeur des rues par rapport à d'autres zones, l'ensoleillement dans ces zones semble être considérable.

La zone industrielle et la zone militaire sont deux secteurs présentant une faible densité avec des grands bâtiments en pavillons séparés et des toitures horizontales. Le rapport de la hauteur des bâtiments à la largeur des rues dans ces deux secteurs est très faible, il atteint rarement la valeur 1. L'urbanisation informelle occupe de grandes parties dans le tissu urbain de la ville. Son apparition vient par intégration de petites localités et mitage des espaces agricoles, autant que l'occupation des poches internes (espaces non bâtis à l'intérieur des tissus existants), ajoutant l'extension qui s'est frayée les quatre accès vers Lambèse, Biskra, Constantine et enfin vers Mérouana. Le résultat est les secteurs de Kechida, Chohada, Bouakel, Parc à fourrage et la route de tazoult. Ces cinq secteurs montrent une densité bâtie très élevée où la largeur des rues ne représente qu'un quart (1/4) de la hauteur des bâtiments dans certains quartiers. Au sud-ouest et à l'ouest de la ville se situe les deux zones urbaines (Zhun). Créé en suivant les orientations du PUD 78, elles se sont concrétisées par le lancement d'un large programme d'habitat collectif et individuel, coopératives et lotissements.

La zone industrielle et la zone militaire sont deux zones à faible densité contenant de grands pavillons en toits plats. Le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur rues dans ces deux sections est très faible, atteignant rarement 1. L'urbanisation informelle occupe une grande partie du tissu urbain. C'est un résultat de l'intégration de petites localités et de l'étalement vers les espaces agricoles. Ainsi, de l'occupation des poches intérieures (espaces non bâtis au sein du tissu existant), ajoutant l'extension qui s'est frayée les quatre accès à Lambèse, Biskra, Constantine, et enfin à Merouana. Le résultat est Kechida, Chohada, Bouakel, Parc à fourrage et le tronçon menant à Tazoult. Ces cinq

zones présentent des densités de construction très élevées, où la largeur des rues ne représente que le quart (1/4) de la hauteur des bâtiments dans certains quartiers.

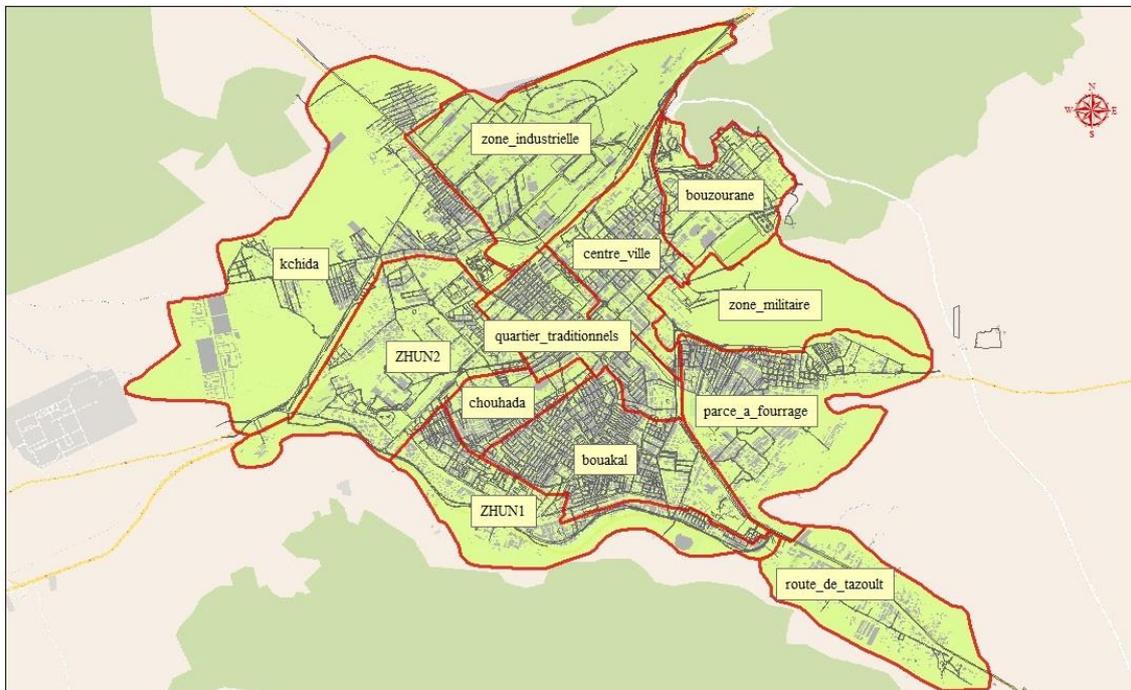


Figure 15. Quartiers et secteurs de la ville de Batna. Source : (Boutrid & Kalla, 2015)

V. LES BATIMENTS RESIDENTIELS COLLECTIFS A BATNA

Les bâtiments résidentiels de Batna ont été conçus à partir de plans conventionnels qui ne tiennent pas toujours compte du climat et des conditions du site. Les conséquences ont été dramatiques sur la qualité des bâtiments résidentiels et la consommation d'énergie. La SONELGAZ (Société Algérienne d'Electricité et de Gaz) estime la consommation énergétique moyenne de Batna à 12,1 MWh/an/habitant, soit environ 7,5 barils de pétrole par an et par habitant. Ce niveau élevé de consommation est essentiellement dû à une mauvaise conception architecturale et technique. Il ressort de la figure 4 que le secteur résidentiel constitue le principal consommateur d'énergie et que la principale énergie utilisée est le gaz.

Tableau 4. Consommation d'énergie dans les logements à Batna (en GWh/an). (municipality of Batna, 2015)

Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consommation d'énergie en GWh/an	2595	2642	2690	2766	2820	2875	2932

Tableau 5. Les émissions de gaz à effet de serre dans les logements à Batna (en KteCO₂/an).
Source :municipality of Batna, 2015)

Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consommation d'énergie en GWh/an	715	728	741	762	777	792	808

Ajoutant le fait que les logements sont très mal isolés : construction classique béton / brique peu performant et la réglementation existante est souvent insuffisamment appliquée. La problématique d'une énergie peu chère qui n'incite pas vraiment les habitants à engager des mesures d'économie. De plus, les écarts de température été hivers importants.

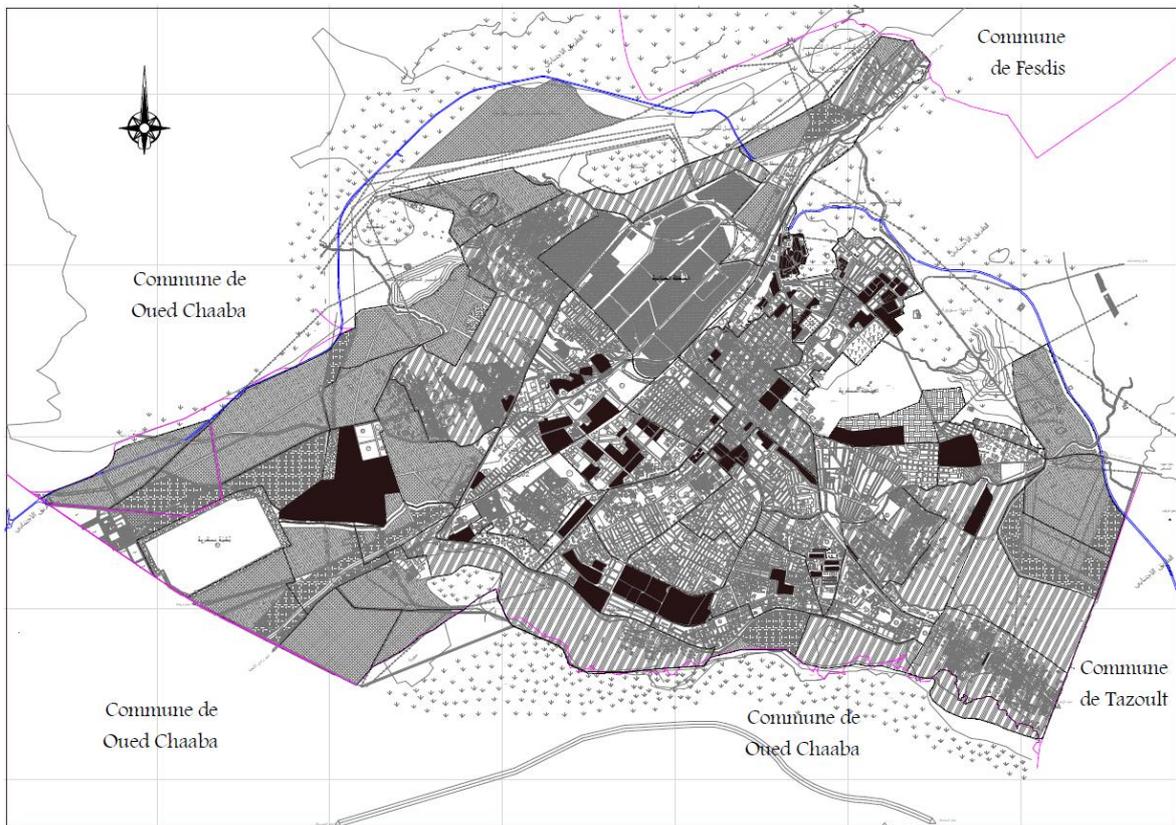


Figure 16. Quartiers et secteurs résidentiels collectifs de la ville de Batna. Source : (auteur).

VI. RECUEIL DE DONNEES ET SELECTION D'ECHANTILLONS REPRESENTATIFS

L'objectif principal de cette section est de sélectionner des échantillons représentatifs pour cette étude. C'est-à-dire la sélection d'exemples typiques représentatifs du parc résidentiel collectif existant dans la ville de Batna, qui serviront de cas d'étude dans toutes les étapes

du processus méthodologique. Sur ces exemples -jugés représentatifs-, les différentes analyses morphologiques et solaires ont alors pu être réalisées. Subséquemment, d'indiquer les sources d'information et la manière de les exploités en chaque étape.

VI.1. Collecte et analyse des données

Afin d'arriver à une représentation réaliste en trois dimensions des exemples typiques représentatifs du parc résidentiel collectif existant à Batna, il faut d'abord accéder à un ensemble d'informations précises sur ces derniers. Ces informations concernent principalement les éléments suivants :

- La forme du terrain sur lequel la forme urbaine étudiée a été construite,
- Les formes des bâtiments, leur mode d'implantation, et leurs dimensions
- La forme et la hauteur des toitures.

Les données et les informations en question ont été obtenues à partir de trois sources : les communautés locales, la recherche documentaire et les observations in situ. La définition et la localisation des quartiers résidentiels collectifs, ainsi que les données d'information 2D de la géométrie de bâtiments, sont issues du Plan Directeur D'architecture Et D'urbanisme (PDAU) et du Plan D'occupation Des Sols (POS) obtenus auprès de la Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la wilaya de Batna (*Direction de l'Urbanisme et de la Construction, 2019*). Une interprétation des deux plans montre des informations manquantes, notamment dans le tissu de la vieille ville. Ainsi, des combinaisons ont été établies comme le montre la [Figure 17](#) pour combler le manque : la première avec OpenStreetMap ([OpenStreetMap, 2021](#)), et la seconde avec une image satellite de Google Maps ([Google, 2020](#)).

Obtenir des informations 3D détaillées sur les bâtiments existants dans la zone urbaine étudiée était un défi de taille. Jamais ces zones n'avaient fait l'objet de création de fichiers de formes contenant une modélisation 3D de bâtiments à l'image de fichiers utilisés dans les Systèmes d'Information Géographique « shapefile ». C'est pourquoi nous avons eu recours à la prise de photos des bâtiments étudiés pour compléter la configuration entière. Cette technique nous a permis de collecter deux informations clés pour la modélisation des bâtiments : la forme des toits et la hauteur des bâtiments, qui est définie par le nombre d'étages multiplié par la hauteur standard de 3,06 m à chaque étage des bâtiments d'habitation collective.

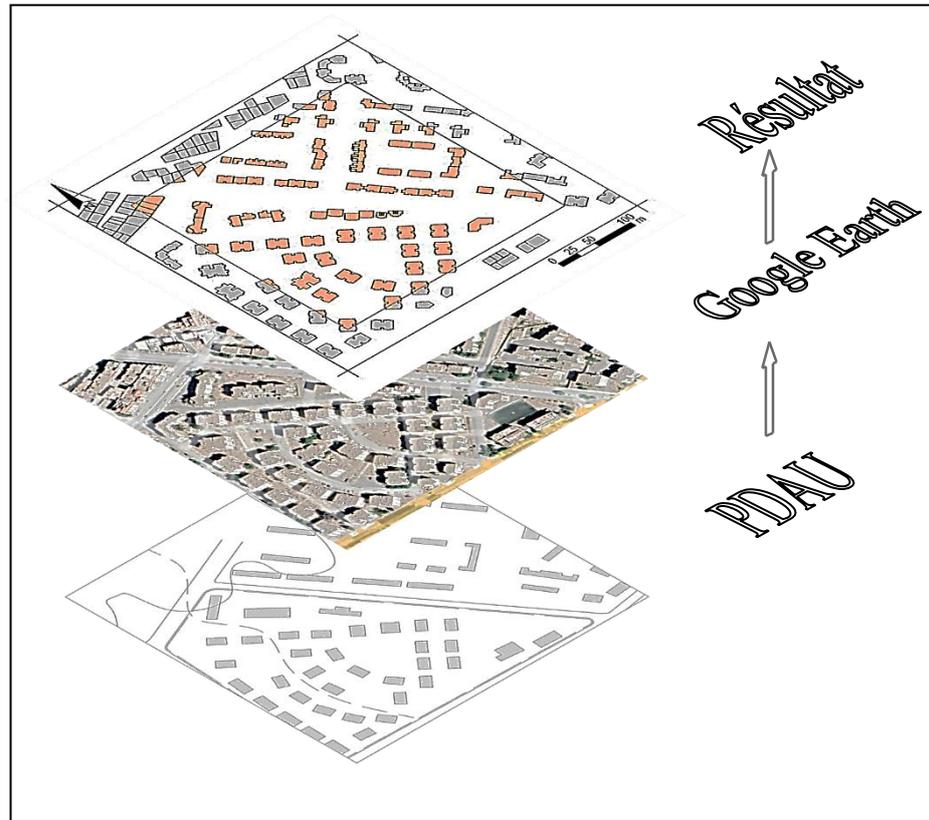


Figure 17. Les sources d'informations utilisées pour collecter les données d'information 2D des quartiers étudiés.
Source : (auteur).

VI.2. Échelle typologique

Le choix de l'échelle urbaine est essentiel pour effectuer la caractérisation des structures urbaines prédominantes dans un tissu urbain donné. Il induit à une division des objets urbains (rues, immeubles, etc.), cette définition peut être critique, selon les caractéristiques du tissu urbain (Tathiane Agra de Lemos Martins, 2014). Le découpage choisi ne peut pas être trop petit et réduit qui ne représente pas adéquatement la structure urbaine, ni trop grand pour inclure de structures différentes. Par conséquent, il est nécessaire de définir une échelle urbaine qui traite au mieux de la morphologie et les apports solaires.

A travers la revue de la littérature, nous percevons que le choix de l'échelle urbaine dans des recherches similaires est multiple, et qu'il peut varier considérablement selon l'objectif de l'étude. Certains chercheurs ont choisi d'examiner des parties d'une ville au niveau du quartier, c'est-à-dire une division qui suit la structure urbaine de ce dernier. L'objectif de ces études est généralement l'élaboration des recommandations urbaines pour mettre en œuvre le potentiel solaire (Lobaccaro et al., 2017), d'analyser la relation entre les

indicateurs morphologiques et le potentiel solaire (Mohajeri et al., 2016), mesurer l'impact de la configuration urbaine sur la consommation d'énergie (Li et al., 2018), ou pour promouvoir les technologies solaires dans le tissu urbain (Xu et al., 2019). Cette option n'est pas adaptée aux recherches visant des études comparatives entre formes urbaines. Celles-ci favorisent le découpage du tissu urbain en mailles carrées de tailles différentes, 500x500m dans (Chatzipoulka et al., 2016; Rode et al., 2014), 400 × 400 m dans (Lau et al., 2017; Poon, 2020), 350×350 m pour (Peronato et al., 2018), et 200x200 m en (Gauthier, 2014).

L'échelle urbaine la plus appropriée pour notre étude a été définie comme une maille carrée de 300x300m pour maintenir le meilleur schéma de tissu homogène avec une forme et une fonction de bâtiment identiques. Cependant, une zone plus grande de 400x400m a été considérée dans les calculs d'énergie solaire pour inclure tous les masques des bâtiments environnants.

VI.3. Echantillonnage

La superficie totale de la ville de Batna a fait l'objet d'un découpage en grille dans les dimensions précitées, incluant les nouvelles zones d'expansion (Hamla, Kchida, Park à fourage, etc.). Ce processus a abouti à 804 carrés d'une superficie totale de 72,36 Km² contenant des quartiers urbains de divers types (résidentiels, commerciaux, industriels, etc.) qui subiront un processus de filtrage multiple par la suite (Figure 18).

- Le premier filtre consiste à sélectionner toutes les cases qui contiennent des bâtiments résidentiels collectifs. Cette action a abouti à 122 cellules d'une superficie totale de 10,98 Km².
- Le deuxième filtre consiste à éliminer toutes les cellules qui contiennent moins de 90% de bâtiments résidentiels collectifs. Le résultat était de 46 cellules avec une superficie totale de 4,14 Km².
- Le troisième et dernier filtre était de supprimer les cellules qui appartiennent à la même cité parce qu'elles partagent les mêmes propriétés formelles et configurationnelles. Finalement, 10 cellules ont été obtenues à partir de ce procédé et ont été désignées comme corpus d'étude pour cette recherche (Figure 19).

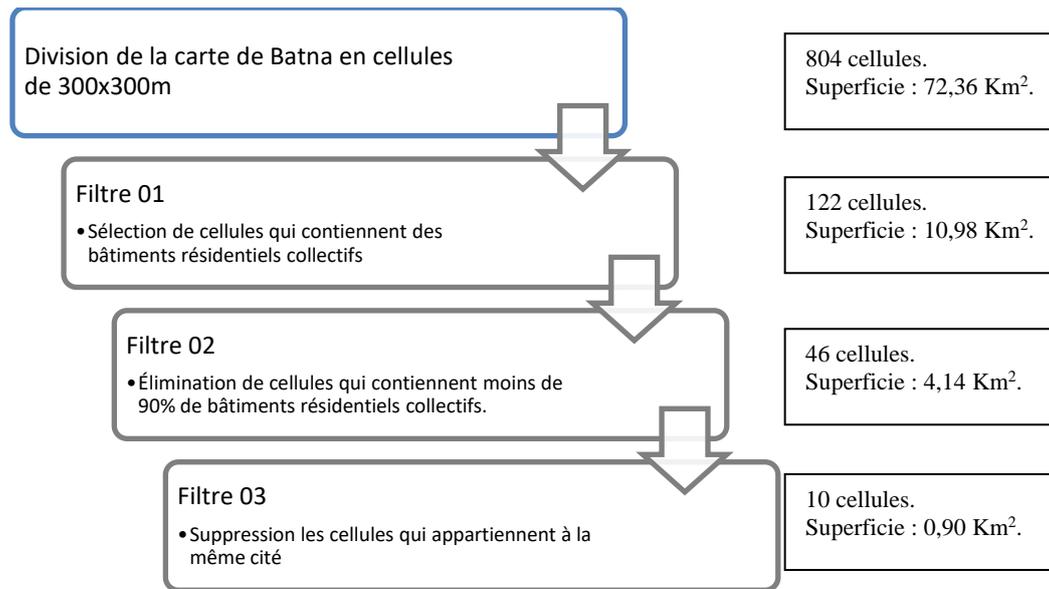


Figure 18. Processus de filtrage multiple pour la sélection du corpus d'étude. Source : (auteur).

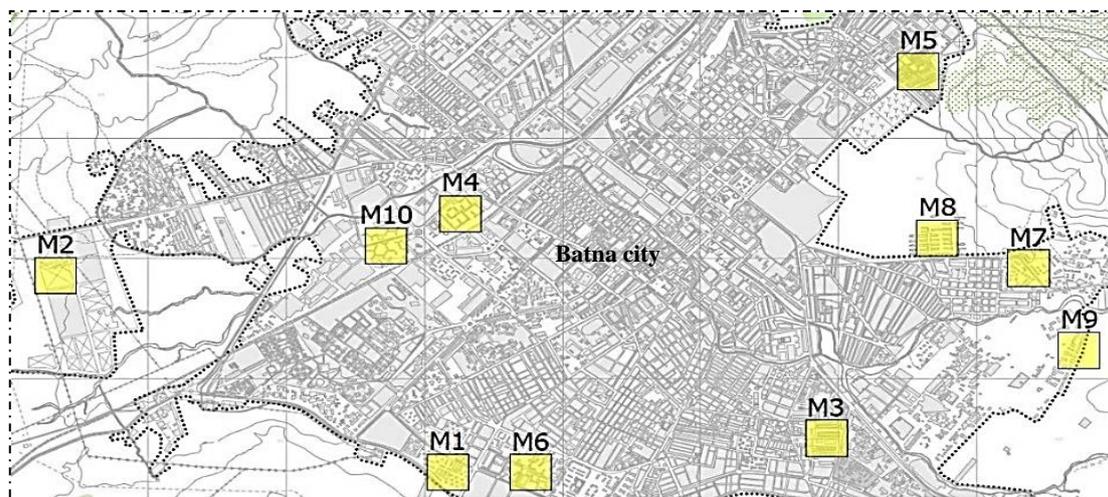


Figure 19. Les zones étudiées sur la carte de Batna. Source : (auteur).

VII. MODELISATION NUMERIQUE 3D DU CORPUS D'ETUDE

Cette section décrit les techniques de modélisation numérique utilisées dans l'étude, permettant de reproduire fidèlement en 3D les 10 formes urbaines représentatives sélectionnées. Le processus de modélisation de chaque échantillon morphologique s'est déroulé en deux étapes : (i) modéliser le terrain et (ii) modéliser les façades et les toitures des bâtiments (Figure 20).

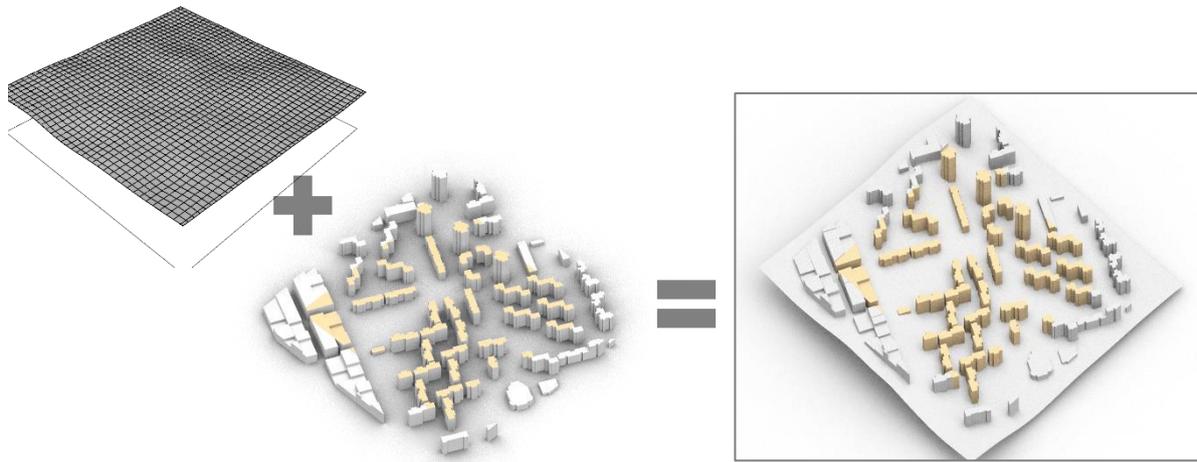


Figure 20. Processus de modélisation 3D du model M6. Source : (auteur).

VII.1. Modélisation de terrain

La modélisation du terrain est une approximation complexe de la réalité qui consiste à transformer un levé topographique avec des niveaux et des élévations en un contour 3D ou une carte tridimensionnelle profilée. De cette façon, les cartes du site peuvent être visualisées dans leur forme réelle, ce qui est utile pour la plupart des projets d'exploration. Elle n'est pas seulement intéressante pour la planification de sites et les recherches de structure urbaine, mais sa topographie influence également le potentiel solaire en raison des ombres portées et des obstructions visuelles, en particulier dans le tissu urbain (Redweik et al., 2013). En raison des fluctuations d'élévation observées dans les cas d'étude, il peut être nécessaire de prendre en compte la topographie du terrain lors de la modélisation.

Le processus établi pour la modélisation de la topographie de terrain est illustré dans la Figure 21. Premièrement, des données géographiques constituées uniquement de latitude et de longitude ont été obtenues à partir de Google Earth au format KML. Ensuite, l'application en ligne de GPS Visualizer a été utilisée pour ajouter instantanément des données d'altitude (élévation). Le fichier résultant (format GPX) a été converti au format DXF à l'aide d'une application en ligne. Cette dernière peut convertir les données numériques du système de coordonnées (latitude, longitude et élévation) en géométrie (nuage de points) au format DXF. Le nuage de points résultant se voit attribuer les informations de localisation et d'altitude à chaque point du terrain. Enfin, à partir du nuage de points, un maillage prenant la forme finale de terrain de chaque cas étudié a été créé à l'aide de Rhinoceros 3D.

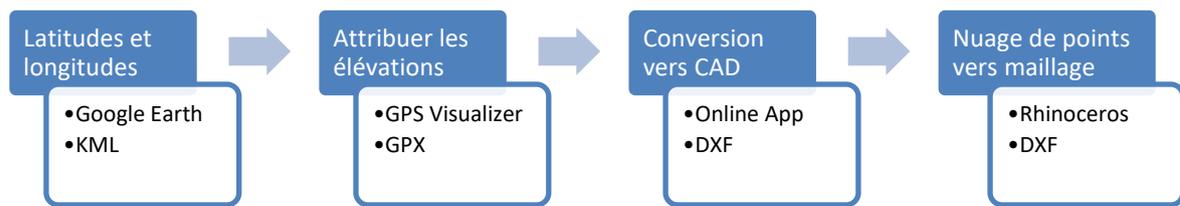


Figure 21. Processus de modélisation de la topographie de terrain. Source : (auteur).

VII.2. Modélisation de façades et de toitures de bâtiments

La modélisation 3D de bâtiments est un processus complexe et long, en particulier pour les bâtiments en milieu urbain où le processus implique de grandes surfaces (d'un quartier à une ville entière). C'est pourquoi nous avons décidé d'emprunter le chemin le plus court en créant un système logarithmique qui nous permet de créer automatiquement des bâtiments tridimensionnels à partir de leurs formes bidimensionnelles. Ce système commence par le dessin des limites des bâtiments en utilisant *les polygones* sur *ArchiCAD*. Le résultat va être exporter vers *Rhinceros 3D* et va être organiser en fonction du nombre d'étages à l'aide de la fonction de calques de Rhino pour les identifier en cas de besoin. Durant cette étape, les modèles 3D de bâtiments ont été générés au niveau de détail 2 pour permettre une analyse fiable du potentiel solaire. A ce niveau, la forme du bloc de construction est reproduite selon la géométrie réelle (Gröger et al., 2012).

Un algorithme a été créé dans *Grasshopper* pour construire la géométrie 3D automatiquement et de façon spécifique qui permet l'utilisation des données numériques résultantes dans le processus d'analyse morphologique. Cet algorithme va

- Extruder les façades en attribuant une hauteur à l'empreinte 2D (Figure 22). Durant cette étape, le nombre d'étages a été utilisé pour déterminer la hauteur des bâtiments car la hauteur d'étage des logements collectifs en Algérie étant fixée à 3,06 m.
- Attribuer automatiquement des toitures plates à la forme finale de bâtiments.

Cependant, toutes les formes de toit en pente ont été tracées manuellement. L'ensemble de la procédure est décrit dans la figure 5.

En fin, des modèles comprenant à la fois la topographie de terrain ainsi que la géométrie des bâtiments ont été produits par la suite, et liés au plug-in Ladybug via l'éditeur d'algorithmes graphiques de Grasshopper pour effectuer les analyses morphologiques et solaires (Figure 22 « Génération de la forme urbaine »).

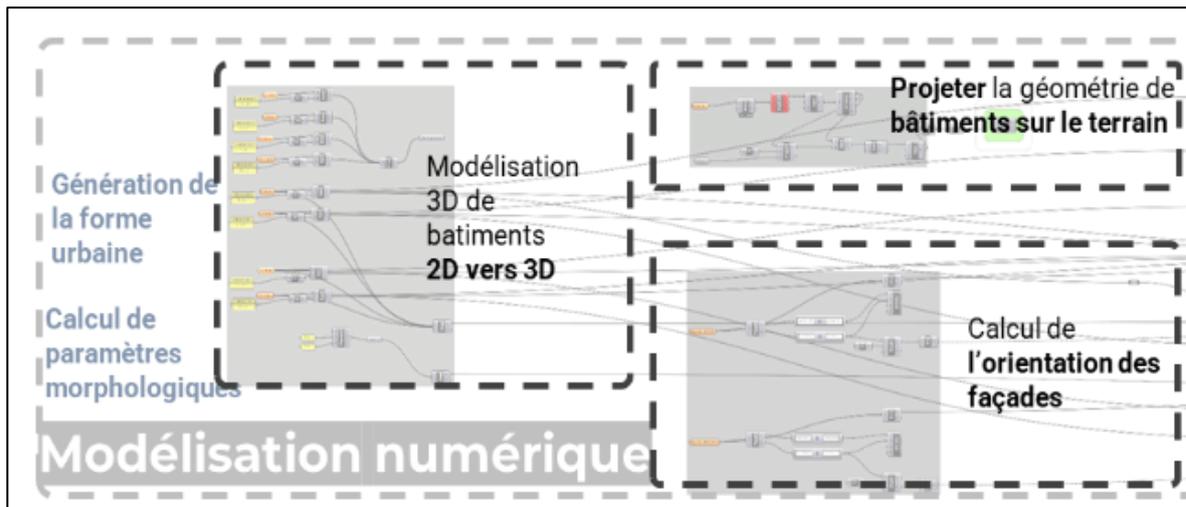


Figure 22. Processus permettant de construire des modèles numériques 3D, utilisant Grasshopper-Ladybug. Source : (auteur).

VIII. CONCLUSION

Nous avons pu déterminer la ville de Batna comme contexte d'étude approprié pour notre recherche. Ce choix a été établi en suivant un processus de sélection qui prend en compte plusieurs critères : la disponibilité d'un gisement solaire important, le climat froid en hiver et chaud en été, et d'autres critères liés aux quartiers résidentiels collectifs. Le choix a été suivi par une présentation de la ville. Cette dernière a touché les aspects géographiques, climatiques, sociaux, environnementaux, etc. Du point de vue quantitatif, les valeurs d'ensoleillement que présente le contexte choisi apparies suffisantes, si on les compare avec celles que représentent la plupart des cas d'études en Europe. De plus, l'analyse environnementale a confirmé que la ville a un besoin urgent d'exploiter des énergies propres, notamment l'énergie solaire, en vue de la facilité de création d'un marché de technologies solaires.

À travers l'analyse et l'observation des quartiers de la ville de Batna, il a été possible de choisir un échantillon de dix formes urbaines représentatifs du parc résidentiel de la ville. Une démarche personnalisée a été créer spécifiquement pour cette fin. La démarche débute par un découpage de la carte de la ville en grille, de ressortir les divisions contenant des bâtiments résidentiels collectifs qui vont subir un processus de filtrage multiple par la suite. Cet échantillon va servir l'étude morpo solaire. L'idée est de sélectionner des formes urbaines résidentielles pour évaluer leur potentiel d'utilisation de l'énergie solaire (systèmes solaires passifs et actifs)

Après un bref aperçu sur les sources d'information et de recueil de données relative à la construction des modèles numériques, on a présenté le procédé adopté pour la construction de ces modèles. L'utilisation de ces modèles devient une nécessité en raison des grands avantages qu'elle garantit :

- La visualisation immédiate de la scène à étudier.
- La possibilité de les réutiliser dans d'autres travaux de recherche
- La possibilité de réunir la modélisation et la simulation dans une seule plateforme

Dans notre travail, la modélisation a été effectuée à l'aide d'un ensemble de logiciels dont ArchiCAD, Rhinoceros, et Grasshopper était les plus importants. Trois principales étapes ont été suivies pour accomplir cette tâche :

- Modélisation du terrain prenant en considération ses reliefs
- Localiser les bâtiments et modéliser les façades
- Trouver la hauteur des bâtiments et modéliser les toitures

Chapitre 05,

Elaboration d'un Modèle

d'Analyse

Table des matières

I.	INTRODUCTION.....	107
II.	ELABORATION D'UN MODEL D'ANALYSE.....	107
II.1.	Analyse morphologique.....	108
II.1.1.	La forme de bâtiments.....	108
II.1.2.	La hauteur moyenne	109
II.1.3.	L'orientation	109
II.1.4.	Volume area ratio	109
II.1.5.	Plot ratio.....	109
II.1.6.	Floor area ratio.....	109
II.1.7.	Couverture de site	109
II.1.8.	Densité	109
II.1.9.	Distance du centre-ville	109
II.2.	Analyse de la disponibilité solaire.....	111
II.2.1.	Calcul des apports solaires annuels et saisonniers	113
II.2.2.	Calcul de la viabilité solaire.....	114
II.2.3.	Calcul de seuils des technologies solaires	116
II.2.3.1.	Seuil de la technique solaire passive pour refroidissement	116
II.2.3.2.	Seuil de la technique solaire passive pour chauffage	117
II.2.3.3.	Seuil de la technique solaire active	117
II.2.3.4.	Seuil de la technique solaire photovoltaïque	117
II.2.4.	Calcul des indices de performance solaire.....	118
II.2.4.1.	Indice solaire passif pour le refroidissement.....	118
II.2.4.2.	Indice solaire passif pour le chauffage.....	119
II.2.4.3.	Indice de collecteur solaire actif.....	119
II.2.4.4.	Indice du photovoltaïque intégré au bâtiment.....	119
II.3.	Analyse statistique.....	120
III.	CONCLUSION.....	120

I. INTRODUCTION

Sur la base de l'étude théorique présentée dans les deux premiers chapitres, nous avons démontré une large revue de littérature sur les méthodes et outils d'évaluation du potentiel solaire dans le milieu urbain. Les synthèses extraites affirment que la simulation solaire tridimensionnelle utilisant des indicateurs de performance des technologies solaires reste la méthode la plus efficace. C'est pour cette raison que dans le présent chapitre, nous allons adapter cette approche afin de proposer une nouvelle méthode d'évaluation et de quantification de l'accessibilité solaire dans les façades et les toits urbains situés dans les zones semi-arides. Cette dernière doit naturellement bénéficier de la progression et du développement marqué dans le domaine de l'informatique. Une description de l'ensemble des outils utilisés va être fourni avec une explication détaillée des étapes suivies.

Afin de parfaire un modèle d'analyse global qui s'aligne sur tous les objectifs tracés pour cette thèse, l'usage d'une approche statistique sera nécessaire pour l'étude de l'impact de chaque paramètre de la morphologie urbaine sur les gains solaires. De nombreux moyens et applications existent pour mettre en œuvre cette étude. Le deuxième défi de cette partie d'étude sera encore de savoir quels outils, méthodes, et indicateurs sont les mieux adaptés à cette étude. Ensuite, comment les adapter pour répondre aux objectifs. En d'autres termes, nous allons choisir l'outil de calcul statistique le plus approprié, définir les mesures et notions statistiques employées, et expliquer profondément les procédés à suivre.

II. ELABORATION D'UN MODEL D'ANALYSE

Le processus méthodologique de cette étude sera développé sur trois principales parties afin de pouvoir confirmer ou infirmer l'hypothèse répondant à la problématique. Sera consacré à une étude méthodologique, qui vise en premier lieu à élaborer une analyse morphologique qui va décrire en détail le corpus d'étude. Ensuite, de proposer un processus d'évaluation du potentiel solaire dans un milieu urbain sous un climat semi-aride qui va être effectué sur l'échantillon choisi. Enfin, de mesurer les effets des paramètres morphologiques sur la disponibilité solaire au niveau des façades et toitures des bâtiments étudiés. Le présent chapitre va également décrire les modalités de collecte de données ainsi que le processus suivi pour l'élaboration des modèles numériques 3D du corpus d'étude.

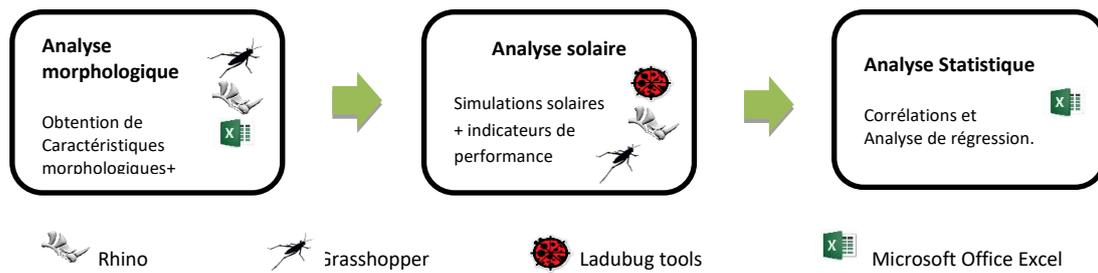


Figure 1. Processus méthodologique. Source : (auteur)

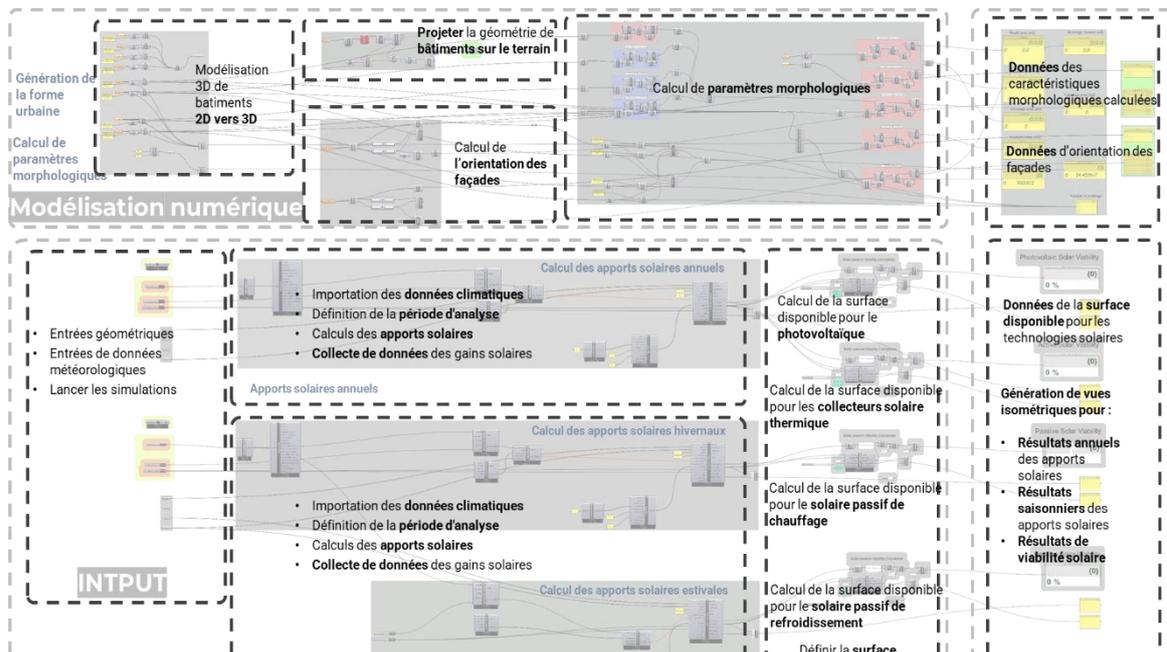


Figure 2. Processus permettant de calculer des paramètres morphologiques et effectuer des simulations solaires utilisant Grasshopper-Ladybug. Source : (auteur).

II.1. Analyse morphologique

Cette étape vise à établir les données numériques des paramètres morphologiques des formes urbaines étudiées. La procédure d'investigation a été initiée en utilisant les paramètres les plus influents définis et validés par la revue de littérature présentée dans le Chapitre 3. Neuf paramètres ont été considérés pour décrire le patron morphologique de l'échantillon sélectionné. La définition de l'ensemble de ces paramètres sera présentée dans ce qui suit. Subséquemment, un résumé d'indicateurs statistiques utilisés dans le calcul des paramètres est présenté dans le Tableau 1 avec leurs formules associées.

II.1.1. La forme de bâtiments

Caractéristiques géométriques de la composante principale du tissu urbain qui est entourée de voiries externes (Sanaieian et al., 2014).

II.1.2. La hauteur moyenne

La somme des hauteurs des bâtiments divisée par le nombre total de bâtiments (Tian & Xu, 2021).

II.1.3. L'orientation

L'angle d'azimut des façades de l'ensemble de bâtiments dans un quartier où le Nord=0°

II.1.4. Volume area ratio

Le volume total des bâtiments dans un quartier divisé par la superficie total du terrain de ce dernier (Mohajeri et al., 2016; Morganti et al., 2017).

II.1.5. Plot ratio

Le rapport de la surface totale de plancher des bâtiments à la surface du terrain à bâtir dans un quartier (Ahmadian et al., 2019; Chatzipoulka et al., 2016; James et al., 2015; Nault et al., 2015; Sun et al., 2016).

II.1.6. Floor area ratio

La surface brute de plancher du bâtiment dans un quartier divisée par la superficie totale du terrain d'un quartier (Tian & Xu, 2021).

II.1.7. Couverture de site

Le pourcentage de la surface totale bâtie d'un quartier par rapport à sa surface totale (Ahmadian et al., 2019, 2021; Chatzipoulka et al., 2016; James et al., 2015; Nault et al., 2015; Sun et al., 2016).

II.1.8. Densité

Le nombre total de bâtiments dans un quartier divisé par sa superficie (Ahmadian et al., 2019; Javanroodi & Nik, 2019; Mohajeri et al., 2016; Wiginton et al., 2010).

II.1.9. Distance du centre-ville

La distance entre le centre d'un quartier et le centre-ville.

Les valeurs de la hauteur moyenne des bâtiments, l'emprise au sol, la surface construite, la surface de l'enveloppe et le volume des bâtiments ont été obtenues à partir de l'application Grasshopper (Figure 5 « Calcul des paramètres morphologiques »). Le nombre de bâtiments résidentiels, le nombre d'appartements et la distance au centre-ville de chaque site ont été déterminés par des enquêtes documentaires et des observations sur le terrain. Les paramètres restants ont été calculés dans Excel.

L'orientation des façades a été l'une des ressources conceptuelles pour aborder la question de la disponibilité solaire dans la planification urbaine. Son influence sur l'intensité du rayonnement solaire reçu sur l'enveloppe des bâtiments a été largement étudiés et pleinement discutés (Li et al., 2015; Mohajeri et al., 2016). Dans la présente recherche, les angles d'azimut des façades de tous les échantillons sont mesurés. L'angle d'azimut de chaque façade est défini et attribué à sa surface dans Grasshopper, puis exporté vers Excel. Un diagramme en rose de 36 directions est utilisé pour visualiser les résultats.

Tableau 1. Liste de paramètres et morphologiques utilisés dans la présente thèse et leur formules associées

Emprise au sol	Emprise au sol de l'espace bâti	$S_{\text{emprise}} = \sum S_{\text{bâtiments}}$
	Ratio d'Occupation du sol	$\text{COS} = S_{\text{plancher}} / S_{\text{ref}}$
Surface	Surface de référence	$S_{\text{terr}} = \text{surface totale du terrain}$
	Surface bâtie au sol	$S_{\text{bât}}$
	Surface construite	Surface construite = $\sum S_{\text{plancher}}$
	Surface de planchers	S_{plancher}
Enveloppe	Surface de toitures	$\sum S_{\text{toitures}}$
	Surface de façades	$\sum S_{\text{façades}}$
	Surface de l'enveloppe	$\sum S_{\text{façades}} + \sum S_{\text{toitures}}$
Volume	Volume des bâtiments	$V = \sum (S_{\text{bât}} \times H_{\text{bât}})$
Hauteur	Hauteur d'un bâtiment	$H_{\text{bât}} = N_{\text{étages}} \times 3.06$
	Hauteur moyenne	$H_{\text{moy}} = (\sum H_{\text{bât}}) / N_{\text{bât}}$
Quantité	Nbre de bâtiments	$N_{\text{bât}}$
	Nbre de logements	N_{Logts}
Densité	Floor area ratio	$\sum S_{\text{plancher}} / S_{\text{terr}}$
	Plot ratio	$\sum S_{\text{plancher}} / S_{\text{emprise}}$
	Couverture de site	$(S_{\text{emprise}} / S_{\text{terr}}) \times 100$
	Distance du centre-ville	Dist
	Densité bâti	$N_{\text{bât}} / S_{\text{terr}}$
Compacité	Volume area ratio	$\sum (S_{\text{bât}} \times H_{\text{bât}}) / S_{\text{terr}}$
	Surface to volume ratio	$\sum (S_{\text{façades ext}}) / \sum (V)$
Orientation	Exposition des façades	$[(\sum S_{\text{façade}}) \text{ par angle d'azimut de } 10^\circ / \sum S_{\text{façades}}] \times 100$

II.2. Analyse de la disponibilité solaire

La disponibilité solaire est estimée de différentes manières en fonction du climat (Abbasabadi & Ashayeri, 2019; Al Qadi et al., 2018, 2021; Costanzo et al., 2018; Elnokaly & Thomas, 2019; Kaynak et al., 2018; Xu et al., 2021). Par conséquent, parmi les différentes méthodes et outils présentés au chapitre 1, les méthodes utilisant la modélisation énergétique des bâtiments restent les méthodes les plus efficaces pour acquérir les données d'irradiation solaire à l'échelle urbaine (Allegrini et al., 2015).

Dans le même cadre, Compagnon (Compagnon, 2004) a développé une série d'indicateurs de performance pour quantifier le rayonnement solaire global atteignant les enveloppes des bâtiments et évaluer leur potentiel de chauffage solaire passif, actif et photovoltaïque. Suivant cette méthode, l'évaluation de l'énergie finale qui peut être produite par des applications solaires ou conservée en utilisant des stratégies d'éclairage naturel dans un environnement urbain doit suivre cinq étapes :

1. Traiter les caractéristiques climatiques du site afin de construire des modèles de ciel représentatifs annuel et/ou saisonniers
2. Modélisation de la géométrie des bâtiments : les reliefs du site et les paramètres complémentaires tels que les réflexions des surfaces et les ratios des façades vitrées doivent être intégrés dans un modèle numérique 3D.
3. Les deux modèles doivent être traités par un outil de simulation informatique pour calculer les irradiances solaires atteignant l'enveloppe du bâtiment.
4. Déterminer des valeurs seuils pour chaque technique solaire.
5. Extraire la surface de l'enveloppe qui respecte la condition de seuil. Le résultat est normalisé par la surface totale de l'enveloppe du bâtiment.

Cette démarche a été testée par des chercheurs du LESO de l'école polytechnique fédérale de Lausanne. Elle a été utilisée comme cadre méthodologique dans de nombreuses recherches (James et al., 2015; Ka & Robinson, 2010; Mahaya, 2014; Montavon, 2010; Redweik et al., 2013; Robinson, 2006). Des indicateurs de performance solaire utilisant cette méthode ont été calculés pour plusieurs tissus urbains caractérisés par des hivers froids. Le dénominateur commun entre toutes ces études est que leur objectif était de maximiser les gains solaires. Cependant, (Chen & Norford, 2017) ont utilisé cette approche et l'ont adaptée au climat tropical afin de minimiser l'irradiation solaire pour prévenir la surchauffe.

En raison des conditions climatiques spécifiques de l'Algérie, cette étude a suivi la même approche, mais à des fins différentes. Maximiser les gains solaires pour le chauffage en hiver et minimiser les pour éviter la surchauffe en été. La production d'énergie des deux systèmes (capteurs solaires thermiques et photovoltaïques) sera optimisée. Comme recommandé par (Chen & Norford, 2017), nous avons normalisé les résultats par la surface totale de plancher au lieu de la surface de l'enveloppe du bâtiment. La principale raison de ce choix est que la normalisation des indices à l'aide de la surface de plancher fournit un rapport plus significatif pour une étude comparative, ce qui est conforme aux objectifs de cette thèse. Cependant, les surfaces d'enveloppes appropriées à recevoir des technologies solaires seront définies pour interpréter et discuter les résultats de l'évaluation solaire.

Le processus de l'analyse solaire conçu pour cette recherche est présenté dans la [Figure 6](#). Ce dernier fournit, dans une première étape, une procédure d'évaluation du potentiel solaire. L'exécution de cette procédure va produire des informations concrètes sur les performances solaires globales des formes étudiées. L'objectif est de soutenir des stratégies solaires pour améliorer les performances environnementales des bâtiments considérés. La deuxième étape consiste à sélectionner parmi les configurations existantes celle dont les valeurs des surfaces appropriées aux technologies solaires déployées sont les plus élevées.

Suivant cette procédure, le processus d'évaluation se déroule en trois phases principales :

1. Calculer les apports solaires saisonniers, et annuels ;
2. Calculer la viabilité solaire pour les technologies solaires utilisées ;
3. Calculer les indices de performance solaire.

Ces étapes sont précédées de plusieurs phases préparatoires :

- Importer un fichier climatique et à analyser toutes les données météorologiques liés au contexte étudié afin de construire un modèle de ciel.
- Importer les géométries objet d'étude issues de la phase de Modélisation numérique 3D du corpus d'étude ([Section 6 du chapitre 4](#))
- Calculer les valeurs de seuils pour les technologies solaires
- Importer les données de sortie de l'analyse morphologique nécessaires pour le calcul des valeurs de viabilité solaire et des indices de performance solaire.

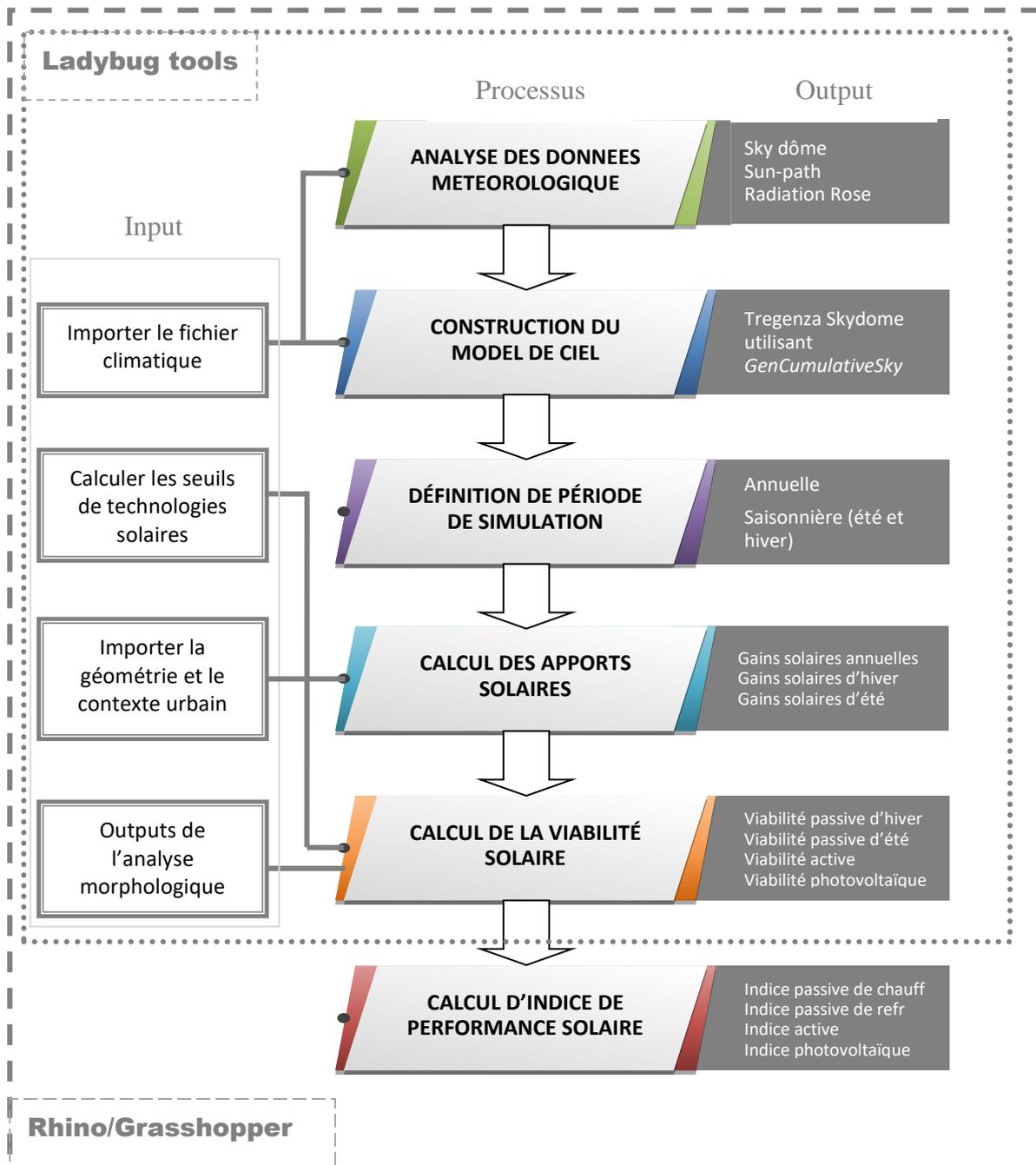


Figure 3. Processus de l'analyse solaire

II.2.1. Calcul des apports solaires annuels et saisonniers

Dans le but de détermination des indices de performance solaire, on doit d'abord calculer l'énergie solaire globale annuelle et pendant les mois d'hiver et d'été reçue sur toutes les faces de la géométrie. Dans les simulations solaires, les énergies rayonnées par le soleil directement et par la voûte céleste émises en chaque partie du ciel précédemment créé

dépendent du type de ciel, mais aussi du temps (heure, jour et mois) ainsi que du lieu (latitude du projet) qui fixent la position du soleil dans le ciel.

L'irradiation solaire annuelle et saisonnière en (kWh/m²) qui atteint l'enveloppe des bâtiments pour chaque cas est calculée à l'aide du plugin Ladybug pour Grasshopper (Figure 5 "Simulations"). Ladybug utilise une méthode de distribution appelée GenCumulativeSky pour générer une carte de radiance cumulative du ciel (Roudsari et al., 2013) afin de calculer la quantité de rayonnement pour différentes zones de ciel du Tregenza Skydome. Les données météorologiques de la ville de Batna obtenues à partir de Meteonorm (Remund et al., 2020) vont être intégrés dans la procédure de calcul. Ces données comprennent les valeurs horaires de l'irradiance horizontale, de la température de l'air, de l'humidité relative, des précipitations, de la vitesse et de la direction du vent, etc. Une grille de 1 × 1 m a été utilisée pour évaluer la quantité d'irradiation solaire cumulée disponible sur toutes les surfaces des façades et des toits, y compris les effets de la géométrie et du contexte. Le paramétrage de la simulation d'énergie solaire annuelle et saisonnière via Ladybug est résumé dans le Tableau 2.

Tableau 2. Réglage des paramètres pour la simulation d'énergie solaire via Ladybug.

Paramètre		Réglage
Emplacement		Batna
Données météorologiques		Batna standard weather data (De meteonorm)
Grille de calcul		1 x 1 m
Période de simulation	Annuelle	Du 1er janvier au 31 Décembre
	Été	Du 21 Juin au 20 Septembre
	Hiver	Du 21 Décembre au 20 Mars
Plage d'heures		00:00–24:00
Intervalle de calcul		1 h
Modèle de radiation solaire		GenCumulative Sky

II.2.2. Calcul de la viabilité solaire

Notre méthode d'évaluation consiste à obtenir une image représentative de la disponibilité d'énergie solaire sur la géométrie étudiée. Pour faire, on a commencé par le calcul des quantités d'énergie solaire annuelles et saisonnières cumulées (en kWh/m²) reçu sur les formes urbaines. La deuxième étape illustrée dans la (Figure 5 « Définir la surface disponible pour les technologies solaires ») et la Figure 7 réside dans la filtration des surfaces de l'enveloppe du bâtiment en zones pouvant recevoir des technologies solaires et d'autres qui ne le sont pas. Un ensemble d'opérations dans Grasshopper, permet la

sélection de fragments de la grille de calcul solaire qui présentent des valeurs d'énergie solaire, similaires ou supérieurs aux valeurs de seuils calculées.

Enfin, Les valeurs de la viabilité solaire A peuvent être acquérir en calculant le rapport entre les surfaces de l'enveloppe recevant une énergie supérieure à celle de seuil, et la surface totale de l'enveloppe de bâtiments d'un modèle. Ce rapport est déterminé par l'équation suivante (Compagnon, 2004):

$$A = 100 \times \frac{\sum Si \cdot Z(Gi - G_{seuil})}{\sum Si} \text{ (en \%)} \quad \text{Eq 1}$$

- $Z(x)$ peut prendre les deux valeurs « 0 et 1 » seulement (1 si $x \geq 0$; 0 autrement)

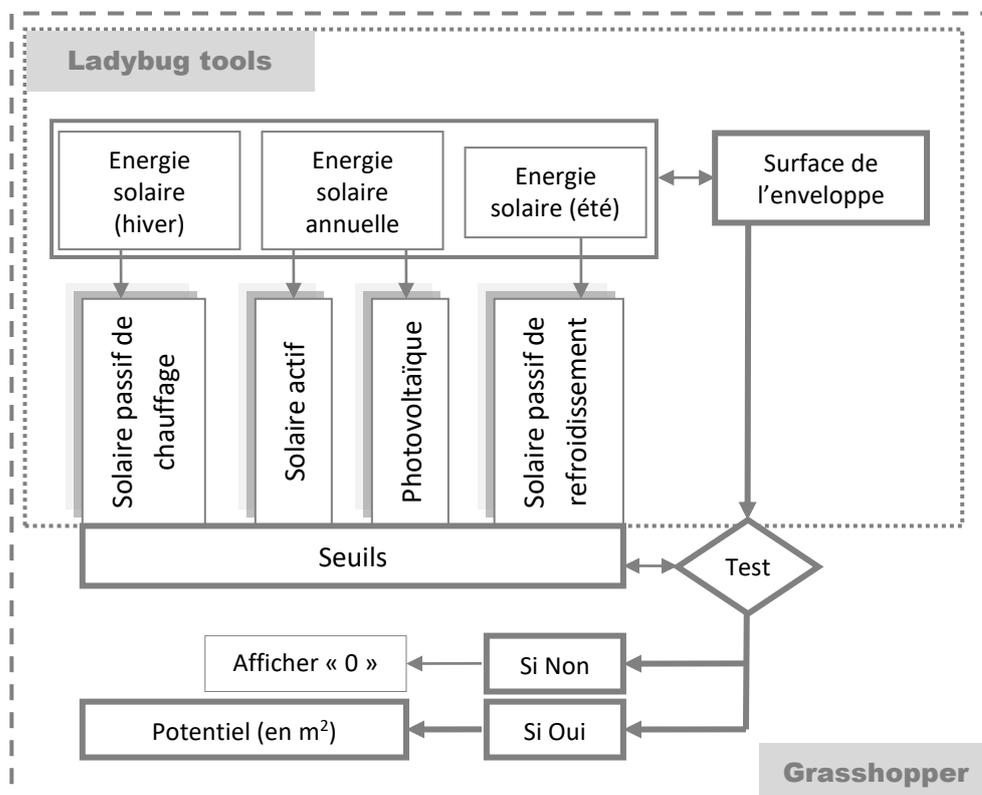


Figure 4. Processus de calcul de viabilité solaire utilisant Grasshopper-Ladybug

II.2.3. Calcul de seuils des technologies solaires

Une valeur de seuil indique la quantité minimale de radiations exigé pour chaque installation solaire afin d'être considéré (Compagnon, 2004). Dans la procédure d'évaluation retenue dans cette étude, quatre applications ont été étudiées : la technique solaire passive de refroidissement, la technique solaire passive de chauffage, la technique solaire active, et la technique solaire photovoltaïques.

II.2.3.1. Seuil de la technique solaire passive pour refroidissement

La valeur seuil de la technique solaire passif pour le refroidissement est dérivée de la valeur de transmission de l'enveloppe résidentielle (RETV) (BCA, n.d.). La RETV prend en considération trois composantes du gain de chaleur :

1. Conduction thermique à travers des parois opaques ($3.4(1-WWR)U_w$),
2. Conduction thermique à travers les fenêtres en verre ($1.3(WWR)U_f$),
3. Rayonnement solaire à travers les fenêtres en verre ($58.6(WWR)(CF)(SC)$).

Ces trois composants sont moyennés sur toute la surface de l'enveloppe du bâtiment pour donner un RETV qui représente la performance thermique de l'ensemble de l'enveloppe. La formule RETV est donnée comme suit :

$$RETV = 3.4(1 - WWR)U_w + 1.3(WWR)U_f + 58.6(WWR)(CF)(SC) \quad \text{Eq 2}$$

Source : (BCA, n.d.)

Où RETV est la valeur de transmission de l'enveloppe résidentielle (W/m^2), WWR est le rapport fenêtre-mur (surface de fenêtres/surface brute des murs extérieurs), U_w est la transmission thermique du mur opaque ($W/m^2 K$), U_f est la transmission thermique de la fenestration ($W/m^2 K$), CF est un facteur de correction pour le gain de chaleur solaire à travers la fenestration et SC est un coefficient d'ombrage de la fenestration.

Ensuite, la valeur seuil de technique solaire passif pour le refroidissement peut être calculée selon l'équation ci-dessous :

$$PSI_{cooling_threshold} = (SF(WWR)(CF) (H_{daylight}))/1000$$

Où $PSI_{cooling_threshold}$ est la valeur seuil de technique solaire passif pour le refroidissement en (kWh/m^2), $H_{daylight}$ est le nombre d'heures d'éclairage naturel pendant la saison de refroidissement.

II.2.3.2. Seuil de la technique solaire passive pour chauffage

La valeur seuil de la technique solaire passive pour le chauffage est une donnée requise pour égaliser le bilan énergétique entre les gains et les pertes de chaleur solaires pendant une saison de chauffage entière. Elle est calculée par la formule suivante :

$$PSI_{heating_threshold} = \frac{24DD U}{1000 g \eta} \quad \text{Eq 3}$$

Source : (Compagnon, 2004)

Où $PSI_{heating_threshold}$ est la valeur seuil de la technique solaire passif pour le chauffage en (kWh/m²)

U : le coefficient de perte de chaleur spécifique d'une fenêtre ;

g : est le SHGC ; transmission de l'énergie solaire de la fenêtre ;

η : facteur d'utilisation de l'énergie solaire ;

DD : Le degré-jour de chauffe en (Kj), il correspond à la situation où la température moyenne de la journée est inférieure à la température de référence (TF).

II.2.3.3. Seuil de la technique solaire active

La valeur seuil de la technique solaire active est une donnée requise pour que les collecteurs solaires thermiques fonctionnent efficacement. Concernant les collecteurs installés sur les façades des bâtiments, un seuil d'irradiation annuel de $ASCI_{threshold} = 400$ kWh/m² est considéré comme seuil raisonnable au moins pour les collecteurs conventionnels plat. Pour les toits qui ont habituellement de meilleures expositions, ce seuil est augmenté jusqu'à 600 kWh/m² (Compagnon, 2004). Pour la présente étude, les deux valeurs ont été réduites à une valeur de 600 KWh/m² pour l'entier enveloppe du bâtiment.

II.2.3.4. Seuil de la technique solaire photovoltaïque

La valeur seuil de la technique solaire photovoltaïque est une donnée requise pour que les collecteurs solaires photovoltaïques fonctionnent efficacement. Pour les systèmes photovoltaïques installés sur les façades de bâtiments, un seuil annuel d'énergie solaire $BIPVi_{threshold} = 80\%$ de l'irradiation annuelle maximale pour un site donné est considéré comme seuil raisonnable, tel que recommande (Compagnon, 2004).

Le [Tableau 4.2](#) récapitule les différents seuils proposés selon leur facteur d'utilisation η et les moyennes des énergies solaires correspondantes.

Tableau 3. Récapitulatif des valeurs de seuils proposées

Techniques solaire	Seuil de la technique solaire
Réchauffement thermique passif	Dépend des caractéristiques climatiques du site : c'est l'énergie solaire cumulée en hiver nécessaire pour compenser toutes les pertes de chaleur durant la saison d'hivers.
Refroidissement thermique passif	Dépend des caractéristiques climatiques du site. C'est l'énergie solaire cumulée en été qu'il ne faut pas dépasser pour éviter la surchauffe.
Collecteurs thermiques solaires	600 [kWh/m ² .an] énergie solaire annuelle (Compagnon, 2004)
Systèmes photovoltaïques	80% des gains annuels maximales pour un site donné (Compagnon, 2004)

II.2.4. Calcul des indices de performance solaire

Des indices de performance solaire ont été utilisés pour comparer les configurations urbaines étudiées. L'utilisation de ces indices permettra également d'évaluer le potentiel solaire des sites urbains afin de déterminer les stratégies solaires optimales pour un contexte urbain donné. Quatre indicateurs de performance solaire ont été calculés :

- Indice solaire passif pour le refroidissement ($PSI_{cooling}$) pour évaluer les techniques solaires passives durant l'été.
- Indice solaire passif pour le chauffage ($PSI_{heating}$) pour évaluer les techniques solaires passives durant l'hiver.
- Indice de Collecteur Solaire Actif (ASCI) pour l'évaluation des techniques solaires actives pour le chauffage.
- Indice du photovoltaïque intégré au bâtiment (BIPVi) pour l'évaluation des techniques photovoltaïques.

Les définitions et les équations utilisées pour chaque indice sont présentées dans ce qui suit. L'objectif de la comparaison sera de trouver les formes urbaines montrant les valeurs maximales des indices de performance solaire.

II.2.4.1. Indice solaire passif pour le refroidissement

L'indice solaire passif pour le refroidissement $PSI_{cooling}$ est le rapport de la surface de l'enveloppe recevant des gains solaire équivalents ou inférieurs à une valeur seuil pendant la saison d'été (Viabilité solaire passive pour le refroidissement) à la surface totale des planchers du quartier urbain.

$$PSI_{cooling} = \frac{APS_{cooling}}{A_{floor}} \quad \text{Eq 4}$$

Source : Auteur

Où $APS_{cooling}$ est la viabilité solaire passive pour le refroidissement

A_{floor} est la surface totale des planchers d'un quartier urbain

II.2.4.2. Indice solaire passif pour le chauffage

L'indice solaire passif pour le chauffage $PSI_{heating}$ est le rapport de la surface de l'enveloppe recevant des gains solaires supérieurs à une valeur seuil pendant la saison d'hiver (Viabilité solaire passive pour le chauffage) à la surface totale des planchers du quartier urbain.

$$PSI_{heating} = \frac{APS_{heating}}{A_{floor}} \quad \text{Eq 5}$$

Source : Auteur

Où $APS_{heating}$ est la viabilité solaire passive pour le chauffage

A_{floor} est la surface totale des planchers d'un quartier urbain

II.2.4.3. Indice de collecteur solaire actif

L'indice de collecteur solaire actif $ASCI$ est le rapport de la surface de l'enveloppe recevant des gains solaires annuels supérieurs à une valeur seuil (Viabilité solaire active) à la surface totale des planchers du quartier urbain.

$$ASCI = \frac{ATH_{solar}}{A_{floor}} \quad \text{Eq 6}$$

Source : Auteur

Où ATH_{solar} est la viabilité solaire active

A_{floor} est la surface totale des planchers d'un quartier urbain

II.2.4.4. Indice du photovoltaïque intégré au bâtiment

L'indice du photovoltaïque intégré au bâtiment $BIPVi$ est le rapport de la surface de l'enveloppe recevant des gains solaires annuels supérieurs à une valeur seuil (Viabilité solaire photovoltaïque) à la surface totale des planchers du quartier urbain.

$$BIPVi = \frac{APV_{solar}}{A_{floor}} \quad \text{Eq 7}$$

Source : Auteur

Où APV_{solar} est la viabilité solaire photovoltaïque

A_{floor} est la surface totale des planchers d'un quartier urbain

II.3. Analyse statistique

Cette section analyse les relations globales des données issues des deux étapes précédentes (l'analyse morphologique et l'analyse de la disponibilité solaire). Des corrélations vont être exécuté entre chacune des variables morphologiques décrites dans la [Section II.1](#) (comme variables explicatives) et les apports solaires annuels et saisonniers calculés pour l'échantillon d'étude (comme variable de réponse). Une analyse de régression va être effectuée pour obtenir la dépendance des indicateurs de performance solaire par rapport aux données des paramètres morphologiques. L'identification mathématique de cette dépendance va être exprimé sous la forme d'une simple régression linéaire à l'aide du logiciel statistique Excel. Les chercheurs ont également utilisé le coefficient de détermination (R^2) pour évaluer dans quelle mesure les gains d'énergie solaire peut être expliquée par rapport aux indicateurs morphologiques. La signification des corrélations est expliquée en termes de valeurs « P ». C'est une mesure de la probabilité qu'une différence observée ait pu se produire juste par hasard, c'est-à-dire que plus la valeur de P est faible, plus la signification statistique de la différence observée est grande.

III. CONCLUSION

L'adaptation d'une méthode générale de résolution d'un problème à un domaine d'application particulier n'est pas toujours facile. Dans le cas d'ensoleillement, cette question a été pleinement discutée. Plusieurs outils et méthodes ont été développées afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines. La plupart d'entre eux viennent soit pour aider le processus de conception afin d'éviter tous les problèmes liés à l'ensoleillement que peut produire une nouvelle conception, soit pour quantifier l'énergie solaire reçue par une enveloppe de bâtiment dans le but d'intégrer une technologie solaire donnée.

Les méthodes de quantification d'énergie solaire basées sur des données météorologiques sont les méthodes les plus efficace dans l'évaluation du potentiel solaire dans le milieu urbain. Elle s'appuie sur un ensemble de calculs effectué sur un modèle géométrique 3D.

Nous avons pu fournir dans ce chapitre une méthode d'évaluation et de détermination du potentiel solaire à l'aide d'une combinaison de quelques outils de conception assistée par ordinateur, de simulation, et de calcul. Nous avons décrit étape par étape les opérations d'évaluation.

Cependant, Il a été possible aussi de ressortir les dimensions et les indicateurs mesurables sur terrain des deux principaux concepts mis en relation dans cette recherche, à savoir : le potentiel solaire, et la forme urbaine. On s'est dirigé par la suite vers l'élaboration de la procédure qui nous permettra l'optimisation des caractéristiques de la forme urbaine.

Chapitre 06,

Résultats De L'analyse

Morphologique

Table des matières

I. INTRODUCTION	123
II. RESULTAT DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE.....	124
II.1. Forme de bâtiments	124
II.2. Orientation	127
II.3. La hauteur moyenne des bâtiments	129
II.4. Le Plot ratio	130
II.5. Le Floor-area-ratio.....	130
II.6. La couverture de site.....	131
II.7. Le Volume-area-ratio	132
II.8. Densité et distance du centre-ville.....	133
III. CONCLUSION	135

I. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objet de présenter les étapes de l'élaboration de la typologie de configurations urbaines du territoire algérien, sur la base de laquelle a ensuite été menée toute l'étude morphologique et solaire.

L'approche typologique manipule des concepts complexes. C'est pourquoi il s'agit dans un premier temps de comprendre la notion de typologie à travers un travail de recherche bibliographique. Nous figurons alors les objectifs de la typologie, et définirons la méthodologie employée pour la créer.

Les objectifs de la typologie sont les suivants :

- Dégager des types de configurations urbaines représentatives du parc résidentiel algérien sous un climat semi-aride en s'appuyant sur l'analyse documentaire.
- Trouver une échelle judicieuse : Qu'est-ce que l'échelle urbaine" ? Est-ce l'îlot, la maille, l'IRIS... ? Quelle est l'échelle pertinente pour des analyses solaires et morphologiques ?

Les résultats vont servir par la suite l'analyse statistique de chaque échantillon et va permettre de déceler des premières tendances, offrir des premiers éléments de réponse et orienter les recherches futures.

II. RESULTAT DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE

Cette section présente les résultats du calcul des principaux paramètres morphologiques à travers les étapes utilisées dans la [Section 2.1](#) du chapitre 5 et les descriptions précédentes. Le [Tableau 1](#) présente, pour chaque échantillon parmi les dix échantillons sélectionnés, des informations sur les bâtiments résidentiels : nombre de bâtiments résidentiels et leur surface au sol, surface totale des planchers, volume, surface des toitures, surface et nombre de façades, et nombre d'appartements.

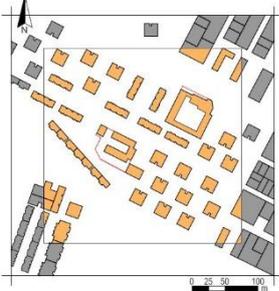
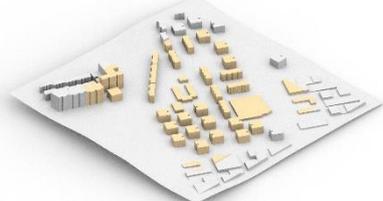
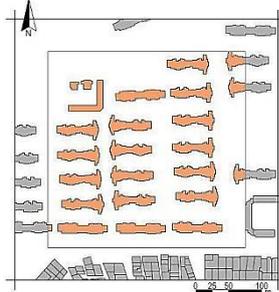
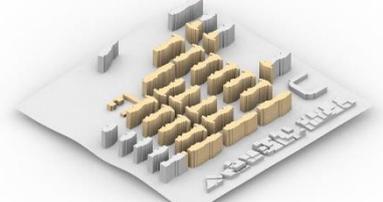
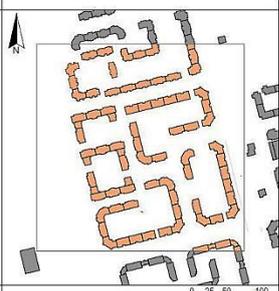
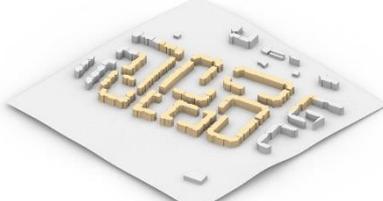
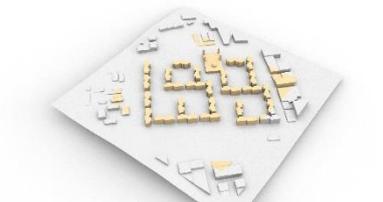
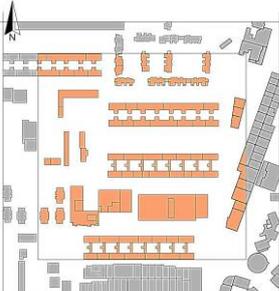
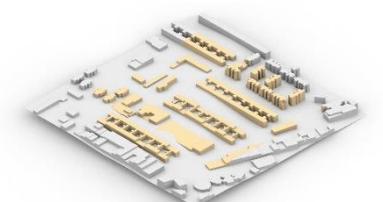
Tableau 1. Statistiques descriptives des formes urbaines étudiées.

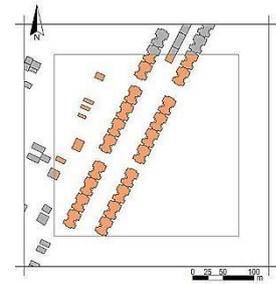
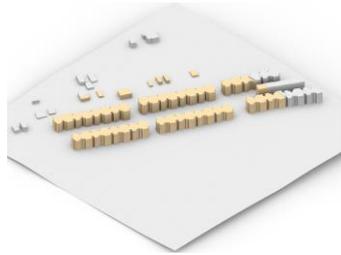
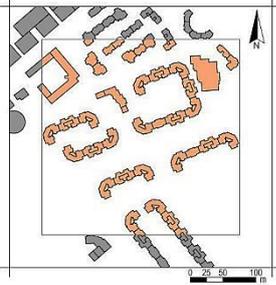
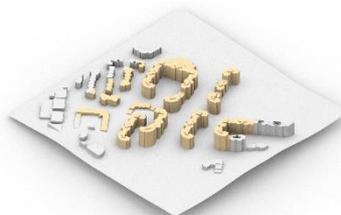
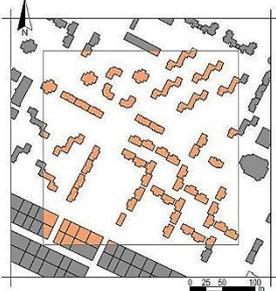
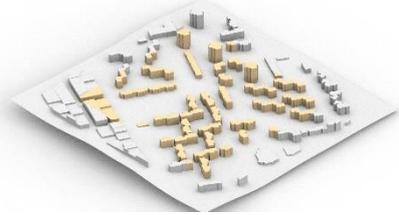
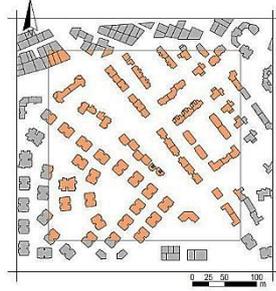
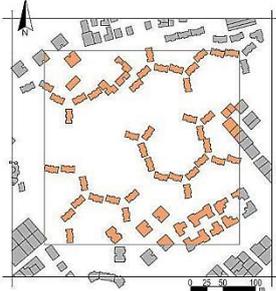
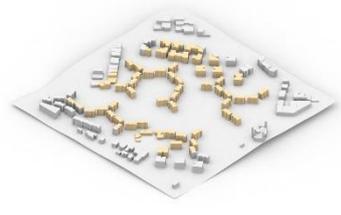
ID du Model	Nombre de bâtiments	Surface d'emprise au sol (m ²)	Surface bâtie (m ²)	Surface des toitures (m ²)	Surface des façades (m ²)	Nombre de façades
M1	46	19031.09	81042.05	19031.09	55543.53	537
M2	81	16165.91	80829.58	16165.91	60268.04	831
M3	89	25094.37	83009.00	25094.37	64191.68	747
M4	74	17504.20	70121.93	17504.20	54276.04	497
M5	129	17161.42	134817.28	17161.42	82419.10	1052
M6	71	16401.01	79401.78	16401.01	67963.27	723
M7	108	17453.05	72658.82	17453.05	78939.72	1256
M8	25	18914.97	182451.05	18914.97	155951.24	1249
M9	28	10847.83	60938.43	10847.83	42277.76	711
M10	65	13001.97	62242.76	13001.97	62162.75	1031

II.1. Forme de bâtiments

Quatre principales typologies d'îlots urbains ont été identifiées sur la base des dix échantillons sélectionnés : tour, pavillon, cour ouverte et typologie hybride ([Tableau 2](#)). Les modèles M1 et M8 présentent la typologie tour. Il est composé d'immeubles en auto-élévation de plan carré ou rectangulaire, disposés à espacement régulier les uns des autres. Dans la configuration de dalle déterminée par M3 et M9, les bâtiments résidentiels présentent des pavillons alignés en continu. Ils sont attachés et alignés, formant des bandes parallèles (bandes) de différentes longueurs avec un espacement régulier entre elles.

Tableau 2. Classification typologique et représentation bidimensionnelle et tridimensionnelle de l'échantillon d'étude.

Typologie	ID du Modèle	Modèle en 2D	Modèle en 3D
Tour	M1		
	M8		
Cour ouverte	M2		
	M4		
Pavillon	M3		

	M9		
Hybride	M5		
	M6		
	M7		
	M10		

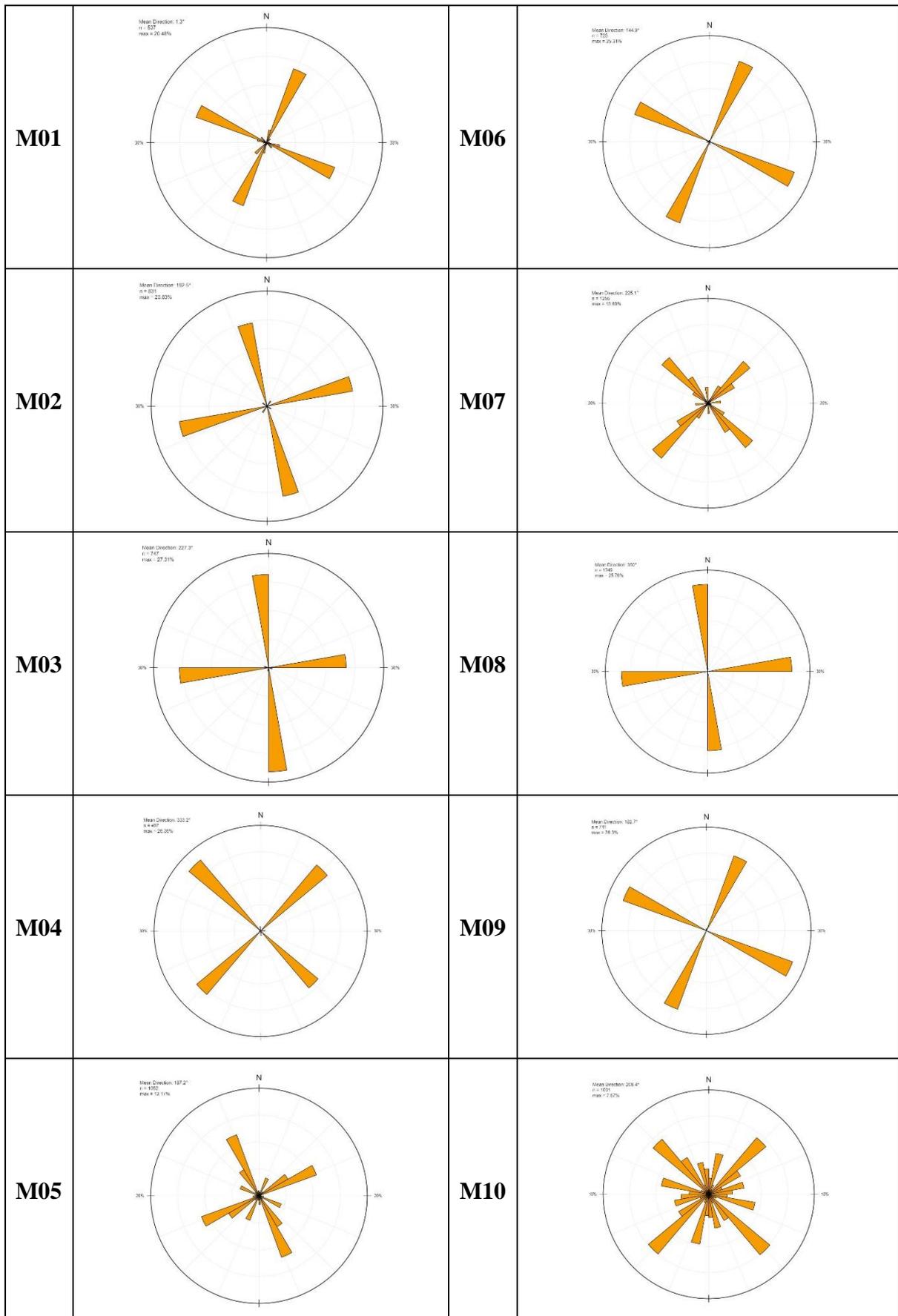
La typologie de la cour ouverte (M2, M4) résulte de bâtiments à cour centrale partiellement fermée où le plan d'étage du bâtiment environnant prend la forme (U, L et I), à hauteur constante. La typologie d'îlot urbain hybride est une configuration particulière

car elle a été présentée par différents modèles numériques M5, M6, M7 et M10. Ainsi, le mélange de typologies d'îlots urbains réguliers et/ou irréguliers sans cour entièrement ou partiellement fermée détermine la configuration hybride. Du fait de leur absence dans les études antérieures, les typologies cour ouverte et îlot urbain hybride présentent des configurations urbaines particulières. Deux facteurs principaux sont à l'origine de ces configurations urbaines spécifiques : le premier est lié au choix conceptuel de l'architecte, souvent indépendant et n'est soumis à aucune exigence de forme, notamment en l'absence de réglementation urbaine. Le second est la diversité des types de production de logements collectifs en Algérie. Chaque type est soumis à plusieurs conditions qui affectent directement la forme et la position du bâtiment.

II.2. Orientation

Le **Tableau 3** illustre les données d'orientation obtenues, les roses d'orientation et les valeurs des angles d'azimut. Celles-ci varient de 0° à 359° , 0° correspondant à la direction Nord et 180° à la direction Sud. Les zones les plus significatives des façades déterminent les principales orientations qui recevront - théoriquement - les valeurs maximales d'irradiation solaire. Selon la rose d'orientation, deux grandes catégories de sites sont apparues : la première regroupe les modèles à orientations dominantes (M1, M2, M3, M4, M6, M8 et M9), et la seconde regroupe les modèles à orientations non dominantes (M5, M7, et M10). La première catégorie se caractérise par la forme rectangulaire des bâtiments et leur disposition régulière sur le site. L'orientation varie par couple d'azimuts de (Nord-Sud/Est-Ouest à Nord-Est-Sud-Ouest/Nord-Ouest-Sud-Est), avec des différences importantes dans les zones de façade. Les façades des modèles : M1, M4, M6 et M9 sont orientées Nord-Sud. Ils sont légèrement orientés Est-Ouest, tandis que ceux de M2, M3 et M8 sont orientés Nord-Sud et légèrement orientés Ouest-Est. Dans la deuxième catégorie, les bâtiments résidentiels sont disposés sur une grille irrégulière alors que la quantité de dispersion dans l'orientation des façades est importante. Les orientations principales représentent 13 % de la surface totale de la façade. Dans une telle situation, nous nous attendons à ce que l'effet de l'orientation sur les irradiances solaires reçues soit minime.

Tableau 3. Rose d'orientation des façades des 10 modèles étudiés.



II.3. La hauteur moyenne des bâtiments

La hauteur moyenne des bâtiments résidentiels collectifs dans les modèles M8 et M3 est en conséquence d'environ 33,67 m et 10,59 m, ce qui représente les valeurs les plus élevées et les plus basses, comme indiqué dans la Figure 1. La deuxième valeur de hauteur moyenne la plus élevée est de 28,47 m, calculée pour M5. Des valeurs de convergence sont observées à 15,3 m, 15,08 m, 14,50 m et 14,45 m dans M2, M9, M6 et M1, respectivement. La hauteur moyenne des bâtiments dans les modèles M10, M7 et M4 est de 13,84 m, 13,79 m et 13,27 m, un à un.

La convergence de la hauteur moyenne des bâtiments dans les modèles étudiés fait allusion à des programmes d'habitat collectif répondant à des exigences identiques. La hauteur maximale des blocks résidentiels est normalisée à cinq étages en général, et de 10 à 15 étages dans des programmes spécifiques à l'image du programme de l'Agence Nationale pour l'Amélioration et le Développement de l'Habitat (AADL).

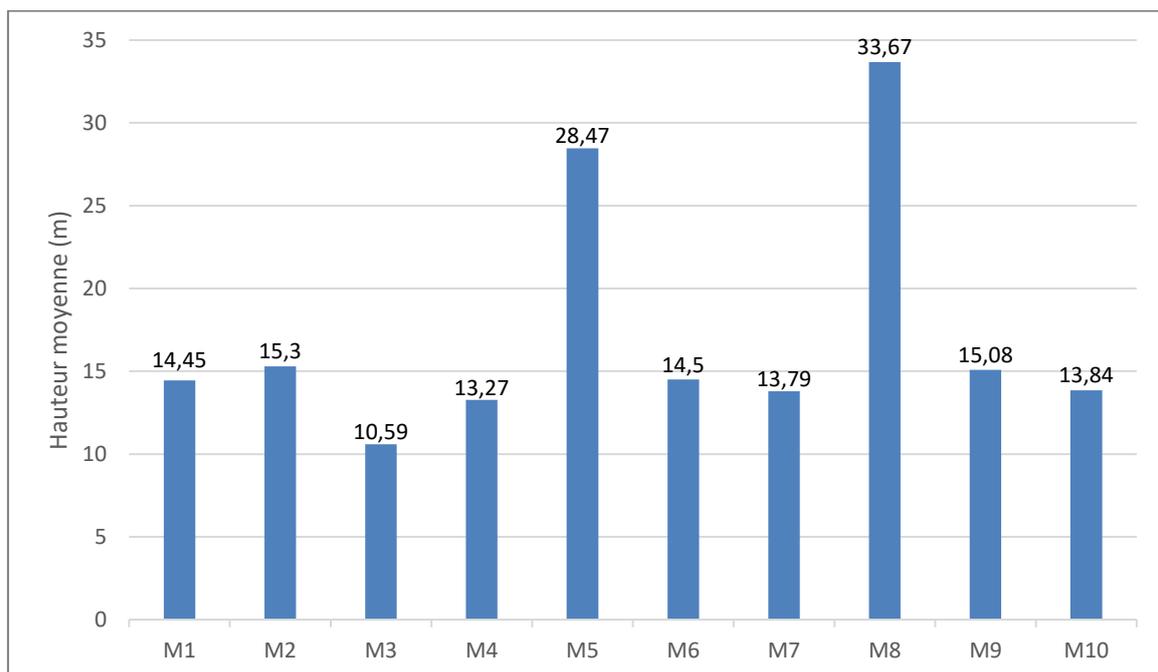


Figure 1. La hauteur moyenne calculée pour les bâtiments des modèles étudiés.

II.4. Le Plot ratio

Les résultats obtenus du plot ratio illustrés dans la [Figure 2](#) diffèrent dans les modèles de la même typologie urbaine étudiée : la configuration de tour (M8, M1), la configuration de pavillon (M9, M3) et la configuration de cour ouverte (M2, M4). Cependant, Les modèles numériques de configuration hybride (M6, M10 et M7) ont montré des résultats approximatifs. Ils sont respectivement de 4,841, 4,787 et 4,163. Les valeurs maximales et minimales sont 9,645 et 3,07 calculées pour M8 et M3, respectivement. Les résultats obtenus en M1 et M9 sont de l'ordre de 4,25 et 5,617, séparément.

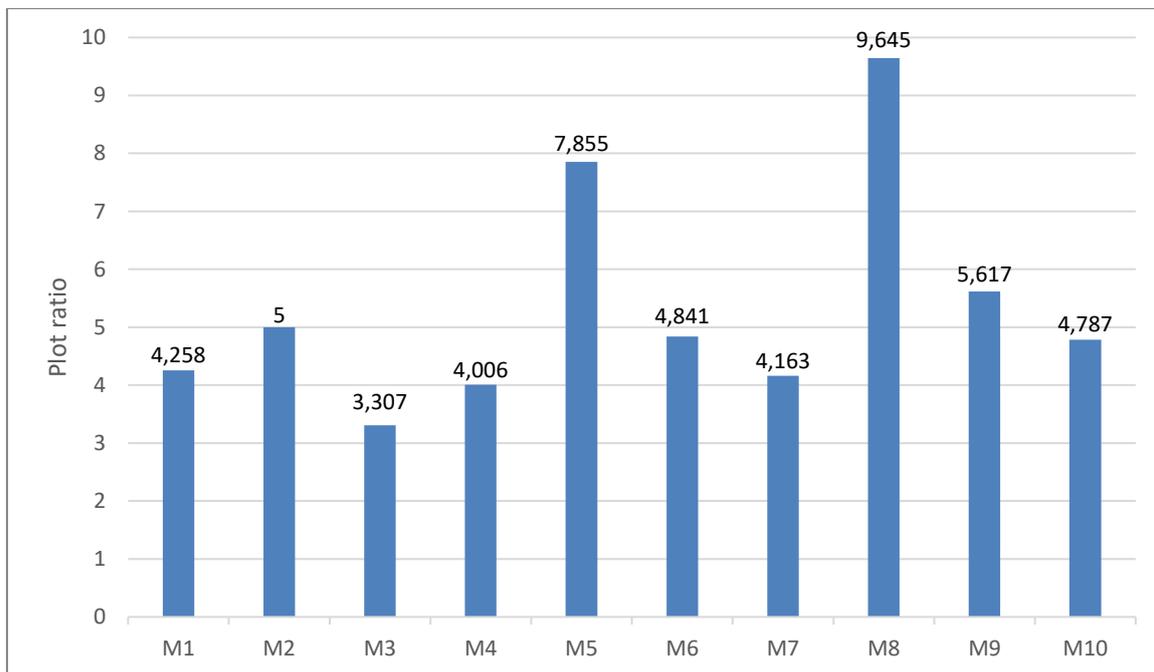


Figure 2. Les valeurs de plot ratio calculées pour les bâtiments des modèles étudiés.

II.5. Le Floor-area-ratio

Le Floor-area-ratio est un indice important pour mesurer l'intensité d'utilisation du sol d'un bloc. La [Figure 3](#) révèle que la valeur la plus haute calculée pour ce ratio est de 2,027 dans M8, et la deuxième valeur la plus élevée est de 1,498 dans M5. Simultanément, la valeur minimale est indiquée dans M9 comme 0,667. Dans M10, 0,692 est la deuxième valeur la plus basse enregistrée. Des résultats similaires ont été observés dans les autres modèles numériques : M3, M1, M2, M4, M6 et M7. Ils varient de 0,922 à 0,779.

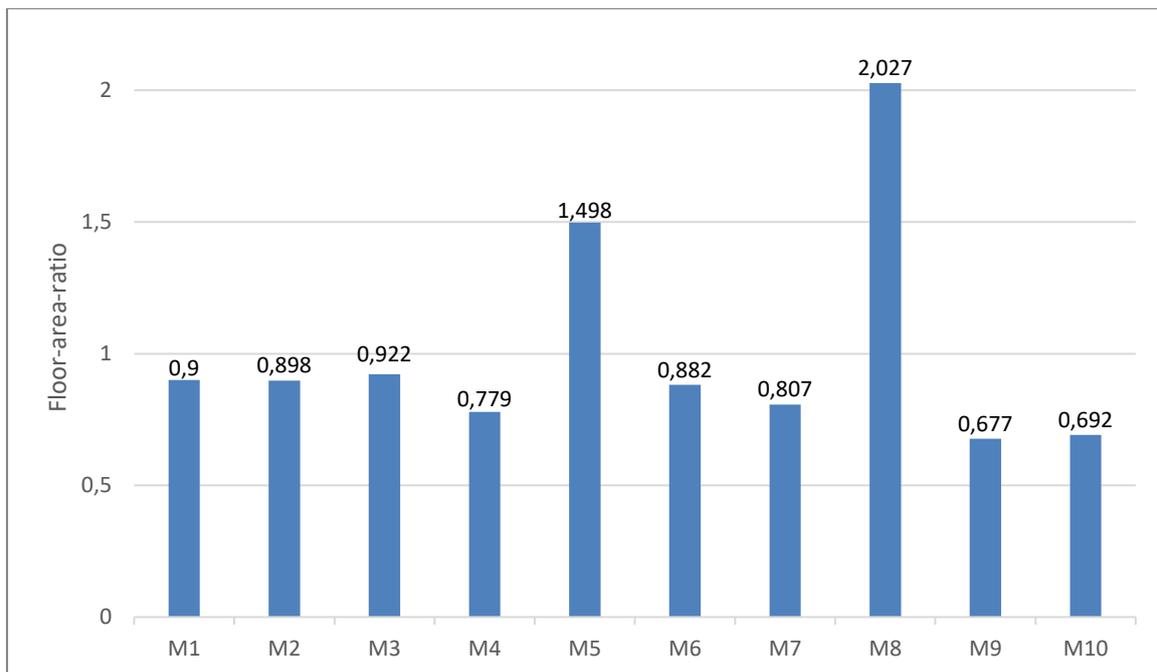


Figure 3. Les valeurs de floor-area-ratio calculées pour les bâtiments des modèles étudiés.

II.6. La couverture de site

Les valeurs calculées de la couverture du site dans les échantillons étudiés sont notées dans la Figure 4. La valeur maximale de la couverture du site a été estimée à 27,83% dans l'échantillon M3, alors que le modèle M9 a la valeur la plus basse de 12,05% de la superficie totale des terres. La deuxième valeur la plus basse présentée dans M10 est de 14,45 %. Des résultats similaires sont observés dans les modèles M1 et M8, avec respectivement 21,15 % et 21,02 % de la superficie totale des terres. Une remarquable convergence de la couverture des sites en M4, M7 et M5 à travers laquelle on note que les valeurs varient de 19,45%, 19,39% et 19,07% une à une. Les modèles M2 et M6 génèrent des résultats proches allant de 18,45% à 17,96%.

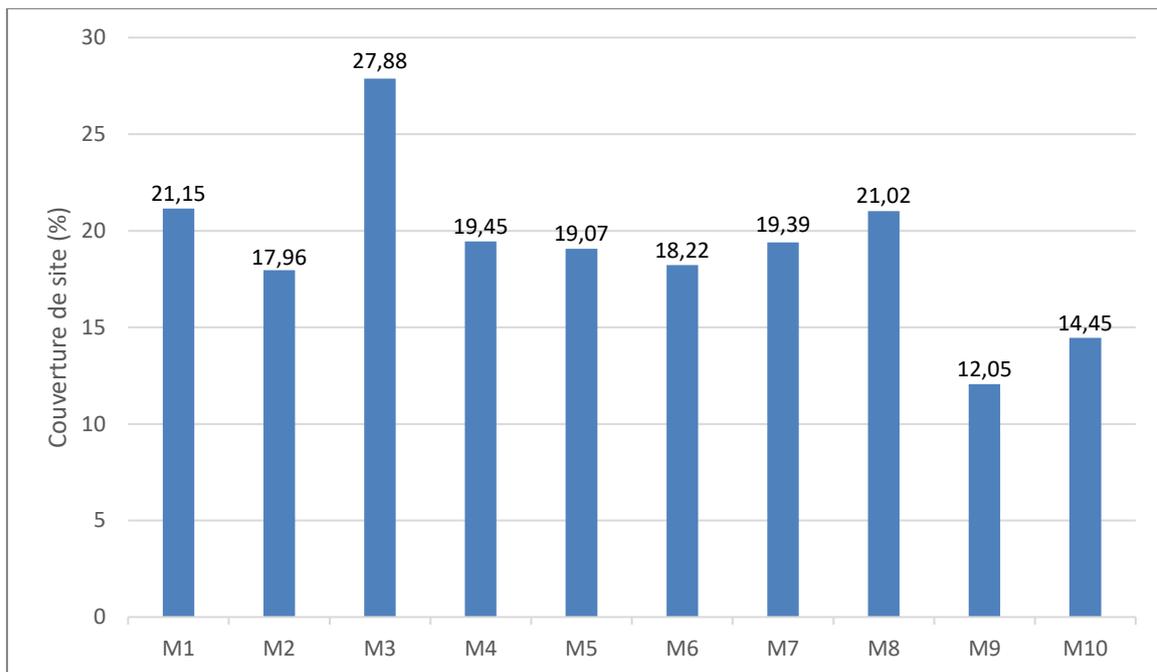


Figure 4. Les valeurs de couverture de site calculées pour les bâtiments des modèles étudiés.

II.7. Le Volume-area-ratio

La Figure 5 montre les résultats des ratio calculés pour les dix configurations urbaines. La configuration de la tour de M8 a le ratio volume / surface le plus élevé ; il est de l'ordre de 7,39. En comparaison, la valeur du ratio volume/surface est de 2,76 dans la même typologie urbaine de M1. Le deuxième résultat de ratio le plus élevé est notable dans M5, une typologie hybride ; 4,58. Dans la même typologie urbaine, 2,08 est la valeur du rapport la plus faible enregistrée pour M10. Le deuxième résultat à faible rapport volume/surface est marqué pour la configuration pavillonnaire de M9. Des résultats proches ont été observés dans le reste des typologies urbaines, à savoir, hybride (M7, M6), cour (M2, M4), dalle (M3, M9). Ces valeurs sont respectivement 2,85, 2,71, 2,75, 2,38 et 2,82.

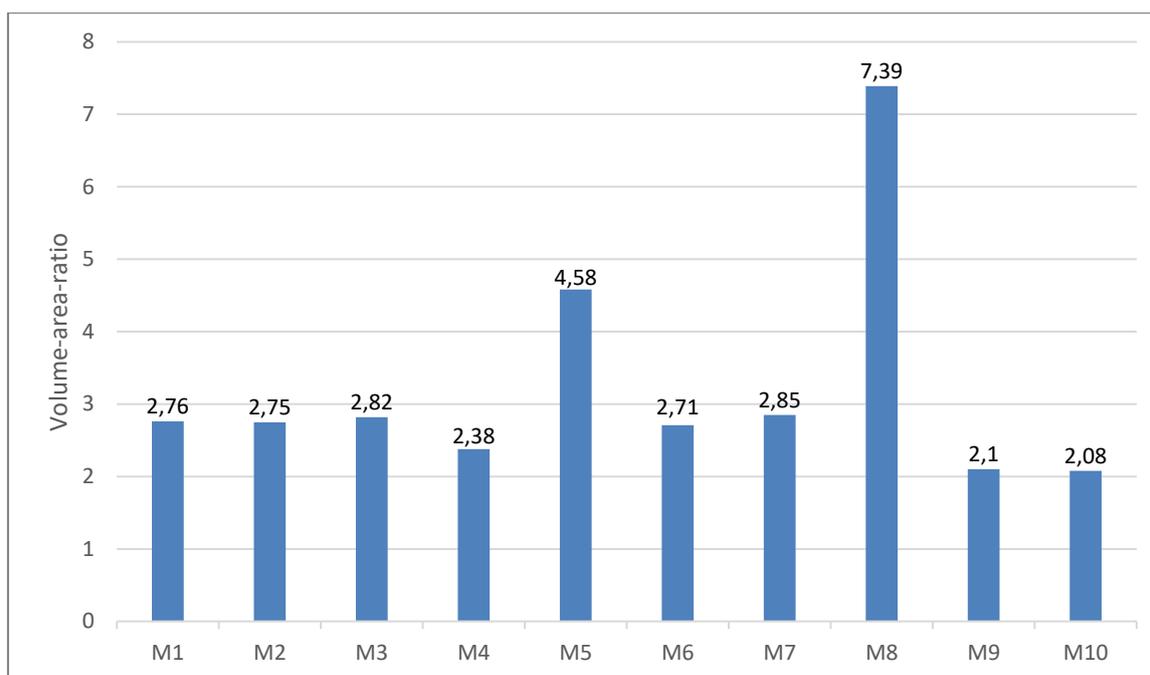


Figure 5. Les valeurs de Volume-area-ratio calculées pour les bâtiments des modèles étudiés.

II.8. Densité et distance du centre-ville

M2 est le modèle le plus éloigné car il est situé à 4,60 km du centre-ville puisqu'il fait partie d'un nouveau développement urbain de la ville. Les neuf modèles restants, proches les uns des autres, ne sont pas loin du centre-ville de Batna, avec des distances allant de 1,77 km à 3,28 km, M4 étant le plus proche à 1,66 km. Les valeurs maximales de densité de construction sont enregistrées pour les modèles M5 et M3, qui devraient être de 0,0014 et 0,0013. Les valeurs de densité de construction affichaient leur plus faible dans les modèles M8 et M9, à 1,77 km et 3,28 km, respectivement. Elles vont de 0,0003 dans le modèle 8 à 0,0009 dans le modèle 9. Les valeurs de densité et de distance par rapport au centre-ville sont présentées dans le tableau 5.

Les valeurs maximales de densité de construction sont enregistrées dans M5 et M3, et elles sont estimées à 0,0014 et 0,0013, respectivement. Les valeurs de densité de construction affichent leurs valeurs les plus basses dans les modèles M8 et M9 situés à 1,77 km et 3,28 km, séparément. Ils vont de 0,0003 dans le modèle 8 attaché à 0,0009 dans le modèle 9. La densité de construction des modèles traités M7, M6, M10, M4 et M1 est de 0,0012, 0,0008, 0,00007, 0,0008 et 0,0005 à partir des zones terrestres. On constate que la logique générale selon laquelle la densité et la hauteur des immeubles diminuent à mesure qu'on s'éloigne du centre-ville ne s'applique pas aux échantillons étudiés. La densité du bâti obéit à d'autres

conditions que la réglementation urbaine. La propriété foncière, qu'elle soit publique ou privée, en plus des prix fonciers, de l'insuffisance des lois réglementant la densité de construction dans les villes, tous ces facteurs influencent les valeurs de densité des bâtiments résidentiels dans les zones urbaines.

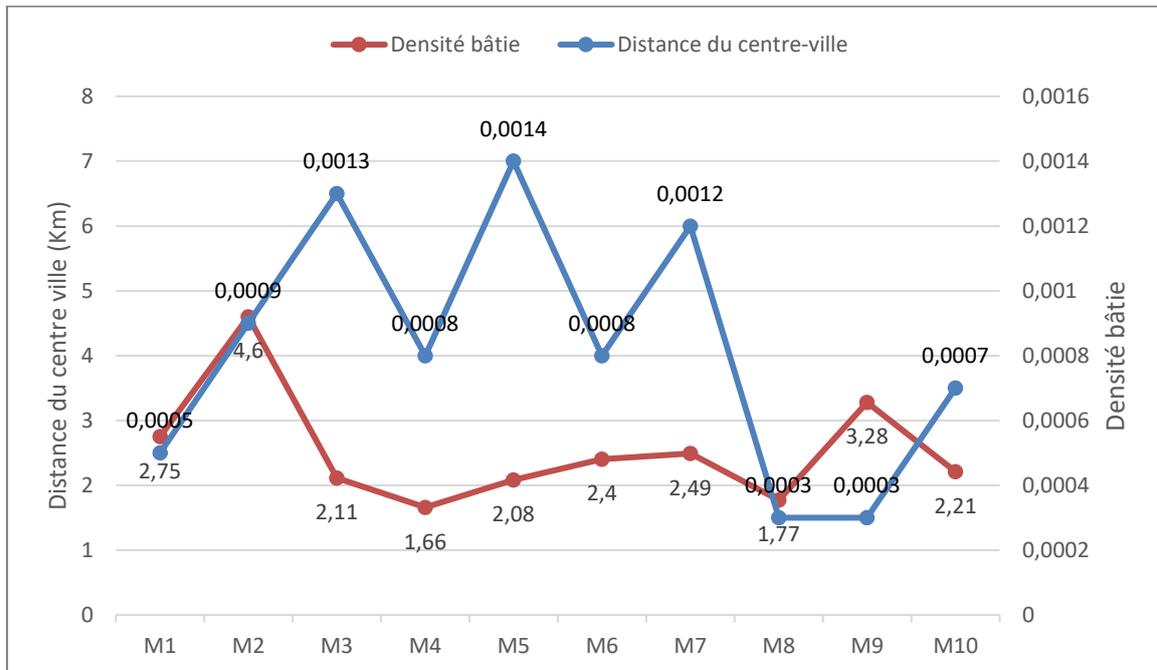


Figure 6. Les valeurs de densité et de distance du centre-ville calculées pour les bâtiments des modèles étudiés.

III.CONCLUSION

L'approche typologique développée ici semble fournir des éléments intéressants annonçant la possibilité de simplifier les modélisations complexes passant par l'échelle bâtiment, en restant à l'échelle urbaine. L'analyse s'est concentrée sur 4 types représentés par 10 échantillons. Les échantillons semblent avoir une variété de caractéristiques géométrique et urbaine, la chose qui va mettre en valeur l'étude paramétrique vis-à-vis le potentiel solaire.

Ladybug / Grasshopper sont les outils qui ont testé les indicateurs urbains au cours de cette étude. Leurs avantages, la combinaison des méthodes de radiativité et de lancer de rayon notamment, le travail de modélisation, calcul de paramètres, et simulation dans une seule plateforme sont des atouts à considérer dans les futures recherches. De plus, la difficulté d'extraction de différents types de résultats notamment (distinction apports solaires par les baies/toitures, apports direct/diffus), ont pu être appréhendés.

La présente étude a ouvert des pistes sur les possibles simplifications des modélisations spatiales et énergétiques nécessaires à la planification énergétique des territoires, en développant un aspect de l'approche Bottom-Up : une approche typologique à l'échelle du quartier, renseignée de paramètres morphologiques et solaires.

Chapitre 07,

L'évaluation du Potentiel

Solaire de Corpus d'Etude

Table des matières

I.	INTRODUCTION	137
II.	RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA DISPONIBILITE SOLAIRE	138
II.1.	Répartition spatiale des apports solaires annuels et variations saisonnières	138
II.1.1.	Répartition spatiale des apports solaires annuels	138
II.1.2.	Répartition spatiale des apports solaires saisonniers	140
III.	RESULTATS DE LA VIABILITE SOLAIRE.....	144
IV.	DEFINITION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ET COMPARAISON ENTRE LES MODELES ETUDIES	145
V.	SIGNIFICATION DE RESULTATS	148
VI.	CONCLUSION	150

I. INTRODUCTION

Le présent chapitre vise l'évaluation du potentiel solaire de l'échantillon d'étude. Il s'agit en premier lieu d'une quantification du rendement énergétique dans les façades et les toitures des modèles numériques des quartiers résidentiels étudiés. Des indicateurs de performance solaire spécifiques tenant compte des conditions climatiques semi-arides a été utilisés. Ensuite, définir la technologie solaire appropriée pour chaque configuration urbaine dans ce contexte spécifique. Les technologies solaires impliquées sont les suivantes :

- Les systèmes actif et passif de chauffage.
- Les systèmes passifs pour le refroidissement
- Les systèmes de production de l'électricité photovoltaïque intégré au bâtiment.

Enfin, il identifie les meilleures configurations urbaines à travers les bâtiments résidentiels collectifs existants étudiés en évaluant leurs performances solaires.

II. RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA DISPONIBILITE SOLAIRE

Le but de cette partie d'étude consiste à fournir des informations concrètes sur les performances solaires globales que l'ensemble de configurations urbaines de corpus d'étude peut garantir et exploité afin de soutenir des stratégies pour améliorer les performances environnementales des bâtiments considérés.

II.1. Répartition spatiale des apports solaires annuels et variations saisonnières

II.1.1. Répartition spatiale des apports solaires annuels

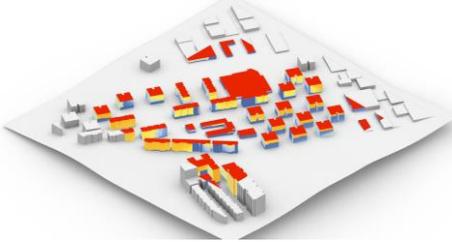
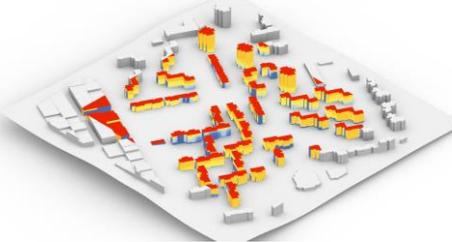
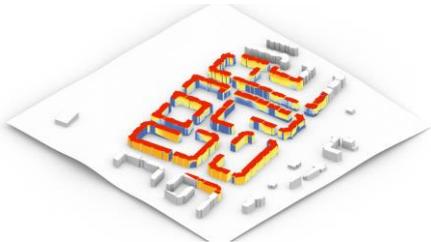
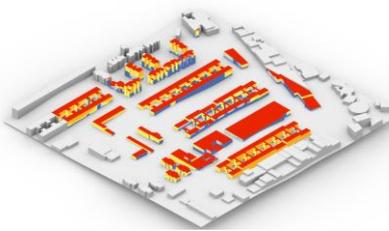
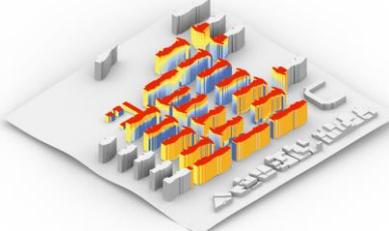
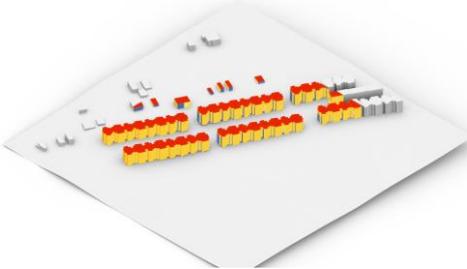
Sur la base de l'évaluation du potentiel solaire pour dix modèles différents de tissu urbain de logements résidentiels, l'irradiation solaire annuelle cumulée de chaque modèle est obtenue et présentée de manière numérique et graphique (Tableaux 1 et 2). Les résultats permettront aux chercheurs de quantifier l'efficacité énergétique des façades et des toits des modèles étudiés et d'estimer la quantité d'énergie disponible et l'emplacement approprié pour les technologies solaires passives et actives.

Les Tableaux 1 et 2 montrent que les toitures reçoivent les valeurs maximales des apports solaires annuels parmi toutes les surfaces étudiées. Sur les toits des modèles M1, M2 et M4, plus de (1950 KWh/m²/an) sont reçus. Les toits des modèles M3, M6, M7, M8, M9 et M10 reçoivent entre (1907,75 KWh/m²/an) et (1945,39 KWh/m²/an). En revanche, le toit M5 a une valeur minimale de (1895,35 KWh/m²/an). Les valeurs faibles, dans ce cas, sont principalement attribuables au fait que les bâtiments plus courts sont ombragés par les plus hauts et à l'effet de la topographie du terrain.

Tableau 1. Les résultats numériques des irradiations solaires annuelles calculées sur les 10 modèles étudiés.

ID du Model	Les irradiations solaires annuelles (KWh/m ² /an)		
	Enveloppe	Façades	toitures
M1	930,52	579,61	1954,64
M2	818,28	513,05	1956,15
M3	894,90	484,56	1944,49
M4	884,77	541,06	1950,50
M5	788,63	558,18	1895,35
M6	828,70	560,42	1940,42
M7	783,99	529,15	1936,62
M8	656,96	500,68	1945,39
M9	871,16	605,18	1907,75
M10	766,94	520,53	1945,01

Tableau 2. Résultats graphiques de distribution des irradiations solaires annuelles des 10 modèles étudiés

<p>M01</p>		<p>M06</p>	
<p>M02</p>		<p>M07</p>	
<p>M03</p>		<p>M08</p>	
<p>M04</p>		<p>M09</p>	
<p>M05</p>		<p>M10</p>	

Concernant les surfaces verticales, il apparaît que les façades M9 reçoivent la quantité la plus importante d'irradiation solaire annuelle, suivies de M1, M6 et M5. Elle est due aux larges fronts orientés Sud et Sud-Est. En revanche, les façades M3 reçoivent les quantités minimales en raison de la valeur maximale de couverture du site. Ce résultat peut également s'expliquer par les faibles niveaux de hauteur moyenne des bâtiments, le rapport de parcelle et les niveaux élevés de rapport plancher/surface et de densité de construction.

A ce stade, il est important de ne mettre en évidence aucune relation significative entre la typologie d'îlot urbain et l'irradiation solaire annuelle cumulée reçue. Les résultats présentés dans le tableau 7 indiquent que les modèles M1 (tour) et M3 (dalle) présentent les valeurs maximales annuelles du potentiel solaire, qui sont (930,52 KWh/m²/an) et (894,90 KWh/m²/an), respectivement. Les modèles M8 (tour) et M10 (hybride) ont obtenu les résultats les plus bas. Alors que les niveaux d'ensoleillement annuels moyens reçus sur les surfaces de l'enveloppe des bâtiments s'échelonnent progressivement de M7 (hybride) ; M5 (hybride); M2 (cour ouverte); M6 (hybride); M9 (dalle); et M4 (cour ouverte) ainsi que (783,99 KWh/m²/an) ; (788,63 KWh/m²/an) ; (818,28 KWh/m²/an) ; (828,70 KWh/m²/an) ; (871,16 KWh/m²/an) ; (884,77 KWh/m²/an) respectivement.

II.1.2. Répartition spatiale des apports solaires saisonniers

L'effet saisonnier sur la disponibilité solaire est examiné séparément pour les façades et les toitures. L'attitude envers les gains solaires en hiver diffère complètement de celle enregistrée pour toute l'année. En saison froide, la valeur la plus élevée d'irradiation solaire a été enregistrée dans le modèle M9 comme son enveloppe reçue (168,43 KWh/m²/w). La deuxième valeur la plus élevée est (163,58 KWh/m²/w) calculée pour M1. La valeur la plus basse est enregistrée dans le modèle M8, qui ne reçoit que (130,68 KWh/m²/w). En cette saison, l'effet du rapport plancher-surface, le rapport volume-surface, la couverture du site et la hauteur moyenne des bâtiments sont plus perceptibles et inversement liés aux gains solaires.

Tableau 3. Les résultats numériques des irradiances solaires saisonniers calculées sur les 10 modèles étudiés

ID du Model	Les irradiances solaires en hiver (KWh/m ² /h)			Les irradiances solaires en été (KWh/m ² /é)		
	Enveloppe	Façades	Toitures	Enveloppe	Façades	Toitures
M1	163,58	114,99	305,38	301,86	173,69	675,94
M2	148,53	107,20	302,63	259,19	147,90	674,07
M3	159,38	103,39	302,54	286,98	135,72	673,89
M4	154,92	106,88	303,87	288,02	163,04	675,55
M5	146,72	115,86	294,89	246,28	160,80	656,82
M6	148,79	111,83	301,91	265,14	166,84	672,45
M7	141,34	105,72	302,39	250,00	157,17	669,85
M8	130,68	109,81	302,68	194,53	136,35	674,17
M9	168,43	132,05	310,20	272,22	172,61	660,41
M10	137,37	102,80	302,61	245,39	155,72	674,04

Comme le montre le **Tableau 3**, les toits de toutes les formes de tissu urbain captent plus de rayonnement solaire que les façades en été et en hiver. Les toits recevaient en moyenne environ deux fois plus d'irradiation en été qu'en hiver. Le modèle M9 a une valeur maximale significative d'irradiation solaire reçue sur les toits en hiver, et le modèle M5 indique (294,89 KWh/m²/w) comme la valeur la plus basse. Plus les hauteurs des bâtiments sont uniformes, plus la surface des toits ombragés est petite, et donc plus la valeur de l'irradiation solaire reçue est élevée. Sur les façades, le modèle M9 reçoit la valeur la plus considérable de (132,05 KWh/m²/w) en hiver, suivi par M5 et M1 avec plus de (115 KWh/m²/w). M10 et M3 affichent les résultats les plus bas (102,8 KWh/m²/w) et (103,39 KWh/m²/w), respectivement.

En été, les résultats estimés ne correspondent pas à ceux calculés en hiver. Il s'agit du modèle M1 qui présente la valeur d'ensoleillement annuel maximal (301,86 KWh/m²/s). Les toits et les façades des bâtiments de ce modèle reçoivent les valeurs les plus élevées. Le modèle M8 indique (194,53 KWh/m²/s) comme la valeur la plus basse. Cependant, les valeurs minimales estimées pour les toitures sont calculées dans le modèle M5 (656,82 KWh/m²/s). En même temps, M3 reçoit (135,72 KWh/m²/s) comme valeur minimale en façade. Les saillies et les évidements des façades de ce modèle et la faible distance entre les bâtiments conduisent à ce résultat.

Tableau 4. Distribution des irradiances solaires hivernales calculées pour les 10 modèles étudiés

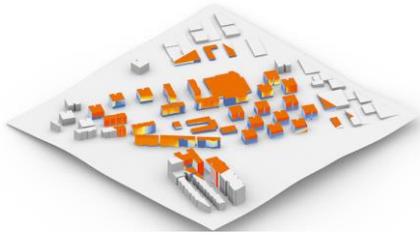
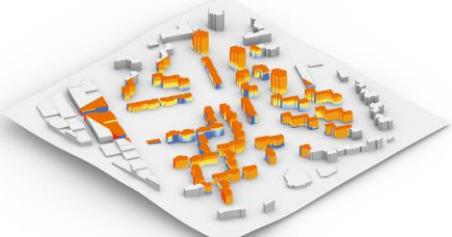
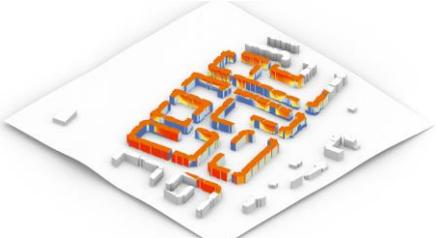
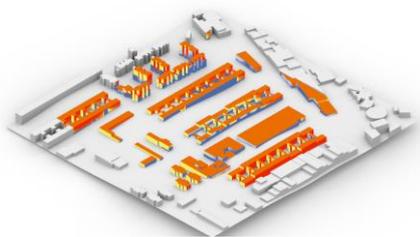
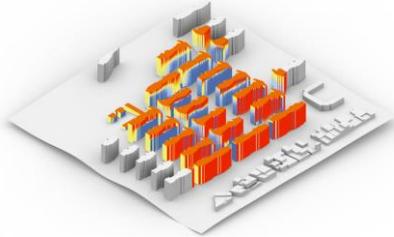
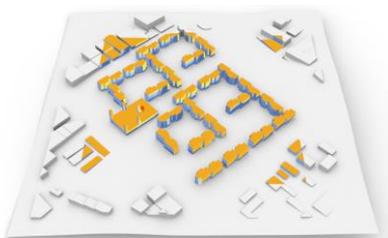
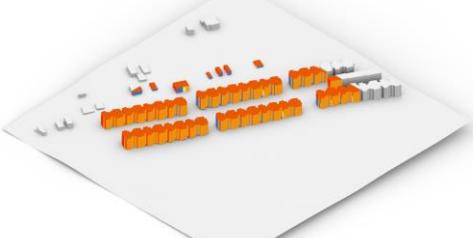
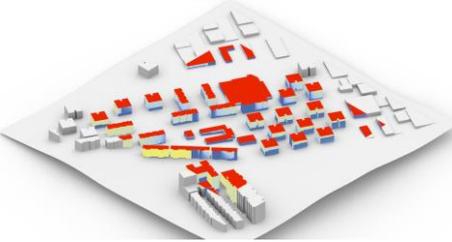
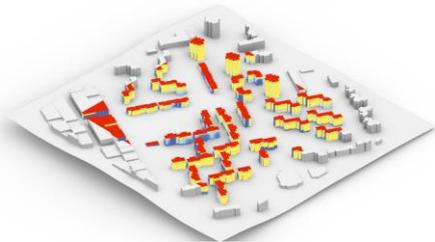
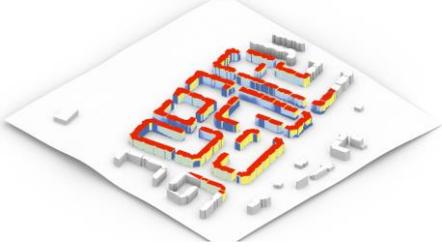
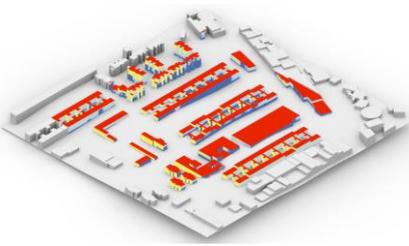
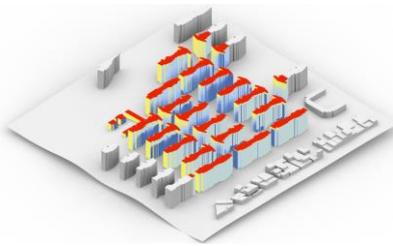
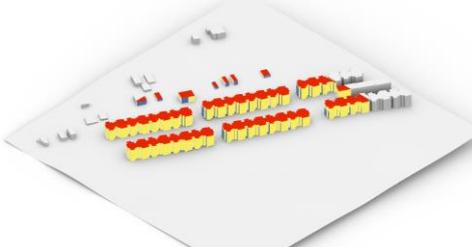
<p>M01</p>		<p>M06</p>	
<p>M02</p>		<p>M07</p>	
<p>M03</p>		<p>M08</p>	
<p>M04</p>		<p>M09</p>	
<p>M05</p>		<p>M10</p>	

Tableau 5. Distribution des irradiations solaires estivales calculées pour les 10 modèles étudiés

<p>M01</p>		<p>M06</p>	
<p>M02</p>		<p>M07</p>	
<p>M03</p>		<p>M08</p>	
<p>M04</p>		<p>M09</p>	
<p>M05</p>		<p>M10</p>	

III.RESULTATS DE LA VIABILITE SOLAIRE

Les représentations globales de disponibilité solaire peuvent servir à évaluer le potentiel pour différentes applications d'énergie renouvelable. Dans cette étude, quatre applications ont été étudiées : les techniques solaires passives de chauffage, les techniques solaires passives de refroidissement, les techniques solaires actives, et les techniques solaires photovoltaïques.

Dans une première étape, on va déterminer un seuil pour chaque technique solaire. La définition et les formules associées pour chaque valeur de seuil sont définies dans la [Section 5.3](#). Le [Tableau 6](#) récapitule les différentes valeurs de seuils proposées selon leur facteur d'utilisation et les moyennes des énergies solaires correspondantes.

Tableau 6. Récapitulatif des valeurs de seuils calculées.

Techniques solaire	Seuil en KWh/m ²	Paramètres de calcul
Chauffage passif	358	Voir annexe 01
Refroidissement passif	103	Voir annexe 02
Collecteurs thermiques solaires	600	La valeur minimale d'irradiation solaire annuelle requise pour une bonne performance des capteurs solaires thermiques
Systèmes photovoltaïques	1360	80% de l'irradiation maximale annuelle pour Batna

Afin de fournir une évaluation globale du potentiel solaire, et pour obtenir une image représentative de la disponibilité d'énergie solaire sur les géométries étudiées, on a calculé les séries d'énergie solaire globale (en KWh/m²) reçue sur tout l'enveloppe de chaque configuration. Une sélection de surfaces qui reçoivent une valeur similaire ou supérieure à la valeur *seuil* a été effectuée. Afin de définir le pourcentage de viabilité, on calcule le rapport entre cette dernière et la surface totale de l'enveloppe. Les résultats sont présentés en deux façons :

1. Numériques : sous forme de tableaux qui illustrent les résultats numériques des simulations.
2. Graphiques : En utilisant une technique d'affichage de sorte que les Pixel soient colorés suivant les valeurs d'irradiations solaires calculées. Les surfaces de l'enveloppe de bâtiment qui sont viables pour une technologie solaire donnée peuvent être visuellement

identifiées d'une sorte qu'on peut s'assurer que les installations répondent correctement à l'énergie disponible.

Les surface d'enveloppe recevant la valeur seuil de chaque technologie solaire des dix exemples sont calculés et présentés dans le [Tableau 7](#). L'objectif est de fournir une évaluation globale du potentiel solaire des cas étudiés.

Tableau 7. La viabilité solaire calculée pour les dix modèles étudiés

ID du Model	Viabilité solaire passive		Viabilité solaire active	
	APS _{heating} (%)	APS _{cooling} (%)	APV _{solar} (%)	ATH _{solar} (%)
1	47,02	20,53	45,52	58,27
2	27,04	45,91	31,89	46,49
3	39,13	40,42	38,26	56,74
4	43,11	23,89	46,22	71,83
5	38,74	26,47	36,83	54,63
6	41,49	24,86	40,07	54,66
7	36,16	28,3	34,49	48,52
8	26,62	45,24	25,69	46,17
9	50,32	29,63	49,64	66,49
10	33,18	29,86	33,37	50,59

IV. DEFINITION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ET COMPARAISON ENTRE LES MODELES ETUDIES

Les indicateurs de performance solaire des dix exemples sont calculés et présentés dans le [Tableau 7](#) et la [Figure 1](#). L'objectif est d'exercer une comparaison équitable entre les cas étudiés. Les variations enregistrées dans les résultats ont montré que les indicateurs de performance sont sensibles aux changements de configuration urbaine.

Les apports solaires passifs se situent principalement sur les toitures et les façades Sud, Sud-Est et Sud-Ouest pendant la saison hivernale. Comme le montre la [Figure 1 \(a\)](#), le modèle M7 est le plus efficace en termes de technologie de chauffage solaire passif, avec une valeur d'indice de 0,48, suivi des modèles M9, M6 et M4, dans lesquels l'indice est identique, avec une valeur de 0,44. Si la surface totale de l'enveloppe était utilisée comme dénominateur, le modèle M9 aurait les meilleures performances puisque 50,32 % de ses surfaces d'enveloppe reçoivent une irradiation solaire hivernale supérieure à la valeur seuil.

A l'inverse, M2 et M8 sont les modèles les moins performants. Ce sont les modèles qui récupèrent le moins de chaleur perdue pendant la saison froide. Seuls 26 à 27 % de la surface de l'enveloppe reçoivent un rayonnement solaire hivernal supérieur à la valeur seuil (Tableau 6 & 7).

À l'inverse, les valeurs les plus basses de PSI_heating calculées pour les modèles M2 et M8 obtiennent les valeurs les plus élevées de PSI_cooling, comme le montre la Figure 1 (b). 45% de la surface de l'enveloppe de ces modèles évite la surchauffe en saison chaude. Le même résultat PSI_cooling est estimé pour le modèle M3, mais seulement 40,42 % de refroidissement APS. M7 et M10 montrent des résultats intermédiaires. Le risque de surchauffe pourrait survenir dans les modèles M1, M4 et M5 car ils reçoivent les irradiations maximales en été.

M4 apparaît comme le cas le plus approprié concernant le photovoltaïque, comme le révèle la Figure 1 (c). Les toitures et une partie importante des façades de ce modèle peuvent recevoir des panneaux solaires photovoltaïques. Néanmoins, M8 avec la hauteur moyenne des bâtiments, le rapport sol/surface, le rapport parcelle et le rapport volume/surface les plus élevés semble inapproprié pour cette technologie car seulement 25 % de la surface de l'enveloppe reçoit une irradiation solaire annuelle supérieure à la valeur PV_threshold (Tableau 8). M7, M9, M6, M1, M3 et M10 montrent des résultats intermédiaires. La technologie photovoltaïque peut être rentable si elle est installée sur 33 à 49 % de la surface totale de l'enveloppe (Tableau 6 & 7).

Tableau 7. Les indicateurs de performance solaire calculées pour les dix modèles étudiés

ID du Model	Indicateur solaire passif		Indicateur solaire actif	
	PSI heating	PSI cooling	BIPV _i	ASC _i
1	0,43	0,19	0,42	0,54
2	0,26	0,43	0,30	0,44
3	0,42	0,43	0,41	0,61
4	0,44	0,24	0,47	0,74
5	0,29	0,20	0,27	0,40
6	0,44	0,26	0,43	0,58
7	0,48	0,38	0,46	0,64
8	0,26	0,43	0,25	0,44
9	0,44	0,26	0,43	0,58
10	0,40	0,36	0,40	0,61

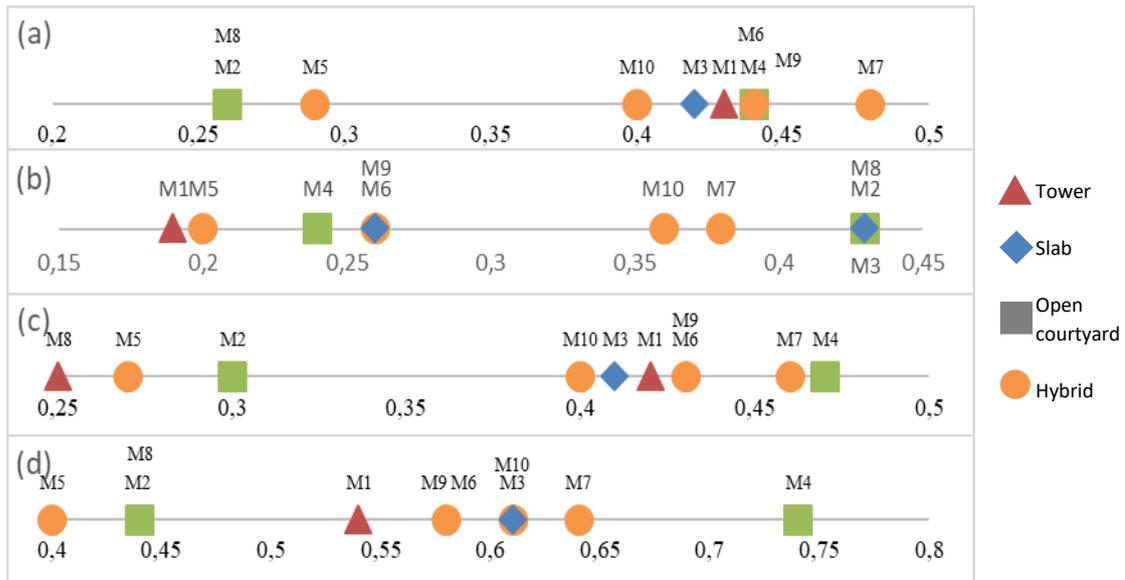


Figure 1. Modèles de distribution selon les indicateurs de performance solaire par typologie de bloc urbain. (a) PSI_chauffage, (b) PSI_refroidissement, (c) BIPVi et (d) ASCi.

Les résultats de la Figure 1 (d) montrent que les modèles M4 et M7 fonctionnent mieux dans la technologie des capteurs solaires actifs, avec une valeur d'indice de 0,74 et 0,46, respectivement. Dans M4, par exemple, 71 % de la surface de l'enveloppe reçoit un rayonnement solaire annuel supérieur à la valeur seuil. Dans ce cas, les bons niveaux d'ensoleillement estimés sont dus à des bâtiments bien espacés. Alors que dans M5, les blocs sont majoritairement proches les uns des autres. En conséquence, le potentiel solaire des façades des bâtiments est considérablement réduit par les immeubles d'habitation voisins. M5, M8 et M2 sont les modèles miniatures les plus performants concernant cette technologie. Dans ces modèles, les valeurs ASCi varient entre 0,44 et 0,55, tandis que M8 affiche le résultat le plus bas d'ATHsolar. 46,17% de la surface enveloppe de ce modèle peut recevoir des capteurs solaires thermiques (Tableau 6 & 7). Bien que les résultats enregistrés soient les plus faibles, ils restent acceptables par rapport à ceux enregistrés dans les technologies solaires et photovoltaïques passives.

V. SIGNIFICATION DE RESULTATS

Les valeurs calculées de l'irradiation solaire annuelle montrent que de vastes surfaces de façades et de toits de bâtiments bénéficient d'une irradiation annuelle importante. Dans certains cas, les toitures reçoivent plus de (1950 kWh/m²/an). Cependant, une partie importante des façades n'est pas exposée aux rayons directs du soleil pendant de longues périodes, en particulier les surfaces exposées au nord et celles situées en bas des rez-de-chaussée des bâtiments. Ceux-ci sont susceptibles d'être inappropriés pour les technologies solaires.

Les résultats estimés dans les dix échantillons étudiés ont montré plusieurs variations dues à de nombreux facteurs liés à la morphologie urbaine. L'orientation détermine en partie l'intensité du rayonnement solaire entrant. Dans cette recherche, les échantillons avec des orientations dominantes présentent des résultats plus élevés que ceux avec des orientations non dominantes. La deuxième catégorie profite moins des apports solaires en raison de la grande partie des façades orientées Nord, Nord-Est et Nord-Ouest. Lorsqu'un échantillon a une orientation non dominante, la probabilité d'avoir une grande surface de façades orientées non désirées est plus grande. La couverture du site, la hauteur moyenne des bâtiments, le rapport des parcelles, le rapport sol/surface et la densité des bâtiments sont des paramètres déterminants qui influencent relativement l'irradiation solaire annuelle sur les façades, ce qui concorde avec les conclusions de (Ahmadian et al., 2021; Lobaccaro et al., 2017; Mahaya, 2014; Tian & Xu, 2021). Sur les toits, les terrains en pente et les variations de hauteur des bâtiments sont des facteurs qui offrent de grandes zones d'ombrage.

L'effet solaire saisonnier est beaucoup plus perceptible en été qu'en hiver. En hiver, la différence entre les valeurs d'irradiation minimale et maximale ne dépasse pas (38 kWh/m²/w), tandis qu'en été, elle atteint (100 kWh/m²/s). De plus, les façades sont beaucoup plus affectées par les changements saisonniers que les toitures.

En hiver, en raison des faibles angles solaires, l'irradiation solaire des façades, en particulier dans les échantillons avec des immeubles de grande hauteur proches les uns des autres, est principalement affectée par un ombrage excessif. Les conclusions de (Martins et al., 2014) confirment également que l'espacement entre les bâtiments affecte directement l'irradiation solaire en raison du niveau d'obstruction du soleil et du ciel. Les valeurs d'irradiation saisonnières dépendent de la hauteur moyenne des bâtiments, du rapport

plancher/surface, du rapport volume/surface et de la couverture du site. (Chatzipoulka et al., 2016) ont suggéré que plus le volume bâti dans un site donné, moins le rayonnement solaire atteint les façades des bâtiments, ce qui traite des conclusions de cet article. Comme cela a été pleinement confirmé (Lobaccaro et al., 2017; Yun & Steemers, 2009). les façades sud, sud-est et sud-ouest sont soumises à un rayonnement solaire prolongé en été et en hiver.

Bien que cette étude ait montré la capacité d'identifier des options de conception performantes à l'aide d'indicateurs solaires, cela n'est applicable que dans une étude comparative. Sinon, en lieu et place des indicateurs, l'étude propose de calculer la surface enveloppe susceptible de recevoir une technologie solaire donnée pour démontrer la performance d'une forme urbaine à cette technologie. Les résultats ont démontré que les indicateurs de performance solaire sont sensibles aux changements de forme urbaine.

En ce qui concerne les indicateurs solaires passifs, les résultats affirment une différence dans les facteurs affectant les résultats PSI_heating et PSI_cooling. L'augmentation de la hauteur moyenne des bâtiments et du ratio de parcelle entraîne une réduction de PSI_heating. Néanmoins, la valeur PSI_cooling est maximale lorsque les bâtiments de l'échantillon sont hauts et proches les uns des autres. Théoriquement, les façades des immeubles de grande hauteur reçoivent une grande quantité de rayonnement solaire car la surface des façades atteint sa valeur maximale.

Cependant, contrairement à toute attente, la hauteur des bâtiments semble être à l'origine de masques générateurs, et les façades sont dégagées des bâtiments adjacents, en particulier lorsque les bâtiments sont proches les uns des autres. Il est possible de relier la performance solaire des façades à la distance moyenne entre les bâtiments, ce qui semble confirmer les résultats d'autres études dans la ville de Londres (Chatzipoulka et al., 2016; James et al., 2015).

Pour les technologies solaires actives, les modèles les plus performants montrent des valeurs faibles de rapport de parcelle et de hauteur moyenne (M4 par exemple), ce qui concorde avec les études de (Agra et al., 2016; Chen & Norford, 2017). Conformément aux résultats (Ayoub & Elseragy, 2018; Elnokaly et al., 2019; Elseragy & Elnokaly, 2007), la majeure partie du potentiel PV provient des toits dans les dix cas. Malgré leur typologie d'îlot urbain complètement différente, M6 (Hybrid) et M9 (Slab) obtiennent les mêmes résultats concernant les technologies solaires actives et passives, ce qui confirme que le

changement de typologie d'îlot n'est pas un facteur déterminant des indicateurs de performance solaire.

Les indicateurs de performance solaire moyens calculés pour tous les cas prouvent que les capteurs solaires actifs apparaissent comme la technologie solaire la plus efficace dans une région semi-aride. Au contraire, la production photovoltaïque est inadaptée à ce climat, surtout si les panneaux sont installés en façade. S'ils sont placés sur les toits, leurs performances seront meilleures.

VI. CONCLUSION

Ce chapitre concerne l'étude des performances solaire globale des formes urbaines choisies, située dans le climat semi-aride et le contexte de la ville de Batna. Il présente les caractères solaires à évaluer, ainsi que la définition de leurs valeurs de seuil.

En utilisant un nombre de 2544 degré-jour pour une saison de chauffage, un seuil de 358 KWh/m² pour les gains solaires passifs de chauffage était déterminé (c'est l'irradiation d'hiver à laquelle les gains solaires dépassent les pertes de chaleur dans la région étudiée). Seulement 36% de l'enveloppe de tous les bâtiments étudiés son appropriées à cette technologie solaire. Pour la technologie solaire passive pour refroidissement, les résultats sont les plus bas. Ils sont de l'ordre de 32%. Pour les collecteurs solaires thermiques, les valeurs supérieures à 600 KWh/m² était appliquées pour les façades et les toitures. Cette technologie solaire affiche les résultats les plus significative de la viabilité solaire. Une moyenne de 56% de l'enveloppe des bâtiments résidentiels collectifs peut recevoir ce type de collecteurs. Cependant, avec une valeur de seuil de 1360 KWh/m², 38% de la surface totale des façades et toitures dans les quartiers étudiés peuvent être utilisées dans la production d'électricité photovoltaïque (sans tenir compte des ouvertures qui diminuent cette surface). Les valeurs limites utilisées dans cette recherche ont pu modéliser effectivement l'efficacité solaire de configurations urbaines.

En plus de l'évaluation numérique, des vues de la géométrie étudiée ont été produites par des techniques de visualisation impliquant le rendu de couleur 3D pour rendre visible les surfaces appropriées aux technologies solaires d'une sorte qu'on peut s'assurer que les installations répondent correctement à l'énergie disponible.

Une partie importante de la forme étudiée ne tire pas bénéfice des irradiations et des éclairagements solaires moyens annuels qui sont techniquement et économiquement

appropriées pour des technologies solaires. Cependant, l'évaluation relative aux façades et toitures appropriés, basée sur les quantités minimales exigées d'irradiation et d'éclairage, prouve qu'une partie très significative de l'enveloppe demeure appropriée pour des opérations solaires de technologie, en dépit du caractère urbain de l'emplacement.

Une grande partie des formes étudiées ne bénéficiaient pas du rayonnement solaire. Cependant, une évaluation des façades et des toits appropriés en fonction de gains solaires minimales requises a prouvé que malgré le caractère urbain des quartiers, une grande partie de l'enveloppe est toujours adaptée au fonctionnement de la technologie solaire. A l'exception de l'énergie solaire active, ces résultats sont assez insuffisants et s'expliquent par la présence d'ombrages (brise-soleil), une mauvaise orientation de la façade, et surtout l'influence de la forme et de l'agencement du bâtiment. Dans les sections suivantes, nous continuerons à tester expérimentalement les effets de chacune des raisons ci-dessus. Cela nous permettra de tester nos hypothèses dans un premier temps et peut-être ensuite de faire des recommandations qui nous aideront à améliorer le potentiel solaire de nos formes urbaines.

Chapitre 08,

Résultats

de l'Analyse Statistique des

Paramètres Morphologiques

et le Potentiel Solaire

Table des matières

I.	INTRODUCTION.....	153
II.	MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE PASSIFS.....	154
II.1.	Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating	154
II.2.	Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating.....	155
II.3.	Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling	158
II.4.	Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling	158
III.	MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ACTIFS	161
III.1.	Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi	161
III.2.	Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi.	162
III.3.	Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi	165
III.4.	Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi	165
IV.	ENTROPIE DES ORIENTATIONS DES FAÇADES.....	169
V.	CONCLUSION.....	170

I. INTRODUCTION

La recherche sur le potentiel solaire des zones résidentielles en Algérie est insuffisante avec le manque de recommandations théoriques sur les technologies solaires en application pratique. Ce chapitre vise principalement à étudier l'impact de la morphologie urbaine sur le potentiel d'énergie solaire des bâtiments dans le contexte de Batna. Il s'intéresse à élaborer certaines suggestions pour les architectes et les planificateurs urbains pour maîtriser en mieux la conception solaire. Une analyse statistique a été menée pour vérifier les effets de différents paramètres de morphologie urbaine sur le potentiel solaire.

Sur la base d'une analyse de régression linéaire, ce chapitre essaye d'obtenir la corrélation (R^2) et la signification (valeur P) de chaque paramètre morphologique avec les quatre indicateurs de performance solaire. Grâce à l'analyse complète de la valeur R^2 et P, on va identifier les paramètres qui ont l'influence la plus significative sur le potentiel solaire de l'ensemble des cas étudiés.

Les résultats attendus vont fournir un cadre qui devrait être d'une grande aide dans le processus de prise de décision pour évaluer et intégrer le potentiel solaire dans un environnement urbain et sous un climat semi-aride. Les résultats vont également fournir également des lignes directrices pour l'optimisation de la forme urbaine en ce qui concerne les interventions de rénovation sur les enveloppes de bâtiments et les applications d'énergie solaire dans les zones urbaines denses.

II. MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE PASSIFS

Sur la base de l'évaluation du potentiel solaire pour un total de 716 bâtiments résidentiels collectifs à travers 10 configurations urbaine représentatives, le potentiel solaire de chaque bâtiment. Sur cette base, l'influence de divers paramètres morphologiques sur le potentiel solaire est étudiée.

II.1. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating

Tableau 1. Les valeurs de corrélation de Pearson calculées entre le PSI_heating et les paramètres de la morphologie urbaine.

Paramètre de morphologie urbaine	PSI_heating
Hauteur moyenne	-0,739
Floor area ratio	-0,725
Plot ratio	-0,769
Couverture de site	-0,043
Volume area ratio	-0,637
Densité bâtie	0,019
Distance du centre-ville	-0,232

Le test de corrélation de Pearson (r) a été réalisé pour étudier la force de l'association linéaire des paramètres morphologiques urbains individuels sélectionnés et le potentiel d'énergie solaire du bâtiment sur le toit et la façade. Le coefficient de corrélation de Pearson (r) varie de -1 , ce qui indique une corrélation linéaire négative totale, à 1 , ce qui indique une corrélation linéaire positive totale. Lorsque r vaut 0 , cela signifie qu'il n'y a aucune corrélation linéaire. Pour l'irradiance solaire sur le toit et la façade, les quatre indicateurs de performance solaires révèlent la corrélation linéaire la plus forte, ce qui concorde avec les résultats de la plupart des études précédentes.

En comparant les performances de corrélation sur l'indicateur de PSI_heating illustrées dans le [Tableau 1](#), c'est la hauteur moyenne des bâtiments, Floor area ratio, et Plot ratio qui sont les paramètres qui ont une corrélation linéaire raisonnablement forte avec le chauffage passif sur l'enveloppe. Ces trois paramètres affichent les valeurs de -73% , -72% , et -76% respectivement. Ces résultats signifient que la relation est inversement proportionnelle.

II.2. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_heating

Les Figures de 1 à 7 montre le diagramme de dispersion entre 7 paramètres morphologiques avec deux indices solaires passifs (Psi_heating). La corrélation (R^2) et la « valeur P » significative de chaque paramètre morphologique dans la relation de régression sont calculées.

Les résultats montrent que le plot ratio ; la hauteur moyenne du bâtiment ; floor area ratio ; et le volume area ratio présentent des corrélations linéaires négatives substantielles avec l'indice PSi_heating. Lorsque les valeurs de ces paramètres augmentent, le PSi_heating du tissu urbain diminue. Le coefficient de détermination calculé entre ces métriques morphologiques et l'indice solaire varie de 0,40 (volume area ratio) à 0,59 (plot ratio), et leurs « valeurs P » sont toutes inférieures à 0,05. Par conséquent, 40 à 59 % de la variation de l'indice de chauffage passif dans les quartiers résidentiels de Batna au cours de l'hiver peuvent être attribués aux changements de ces paramètres.

La performance de corrélation des autres caractéristiques morphologiques est plus faible. Les valeurs (R^2) varient de 0,0004 pour la densité de construction à 0,05 pour la distance au centre-ville.

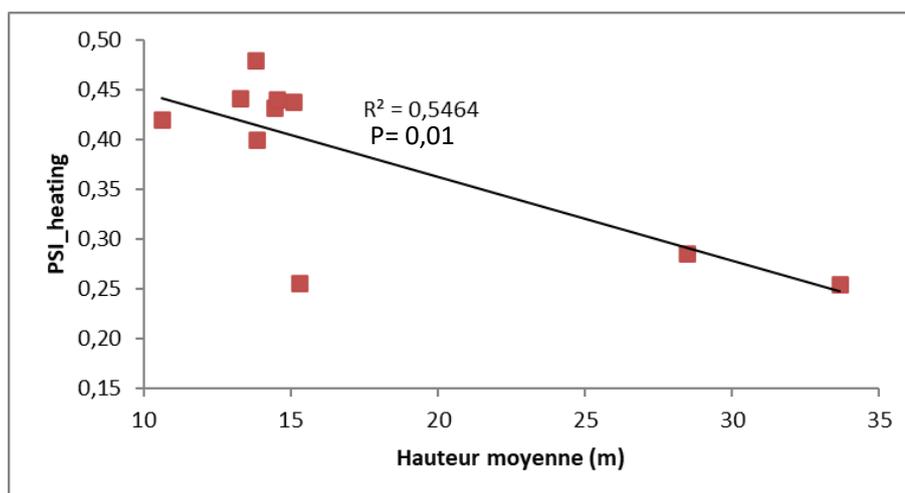


Figure 1. Régression linéaire de PSI_heating et la hauteur moyenne

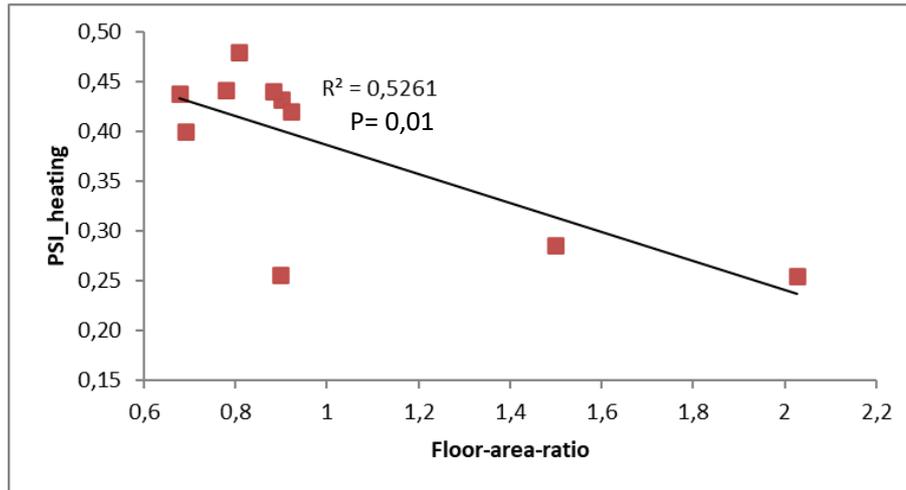


Figure 2. Régression linéaire de PSI_heating et le Floor area ratio

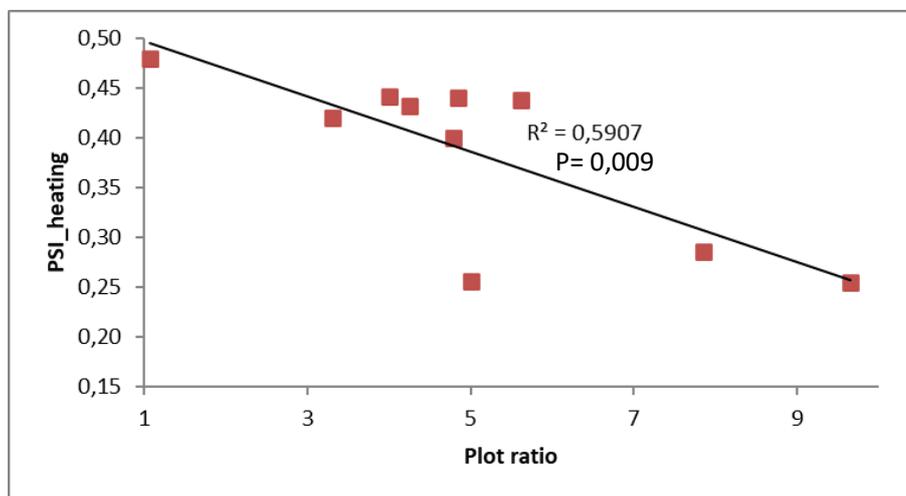


Figure 3. Régression linéaire de PSI_heating et le plot ratio

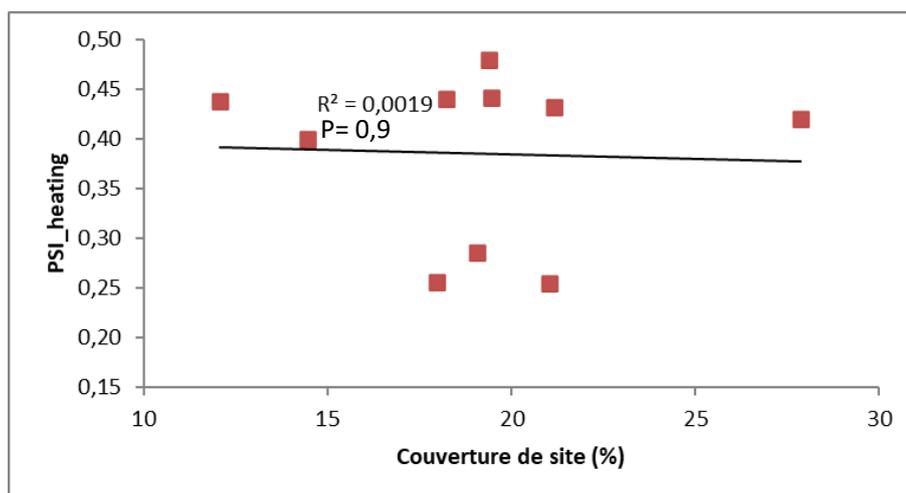


Figure 4. Régression linéaire de PSI_heating et la couverture de site

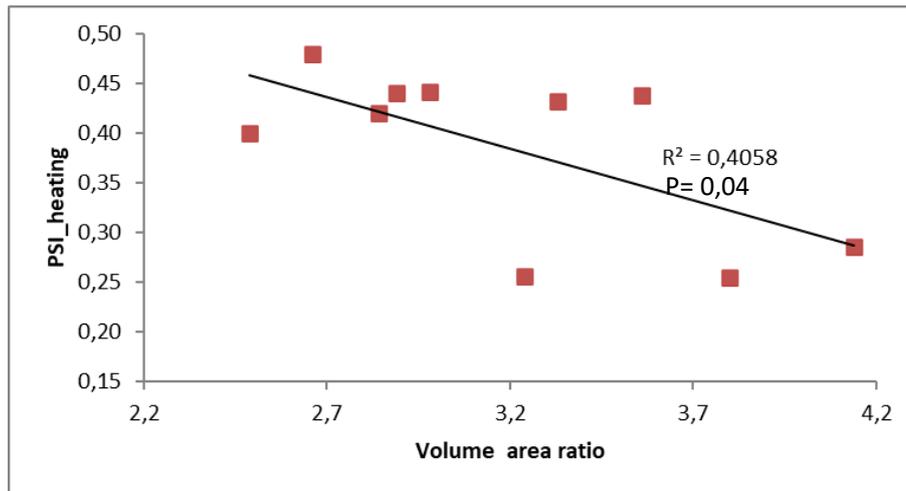


Figure 5. Régression linéaire de PSI_heating et le volume area ratio

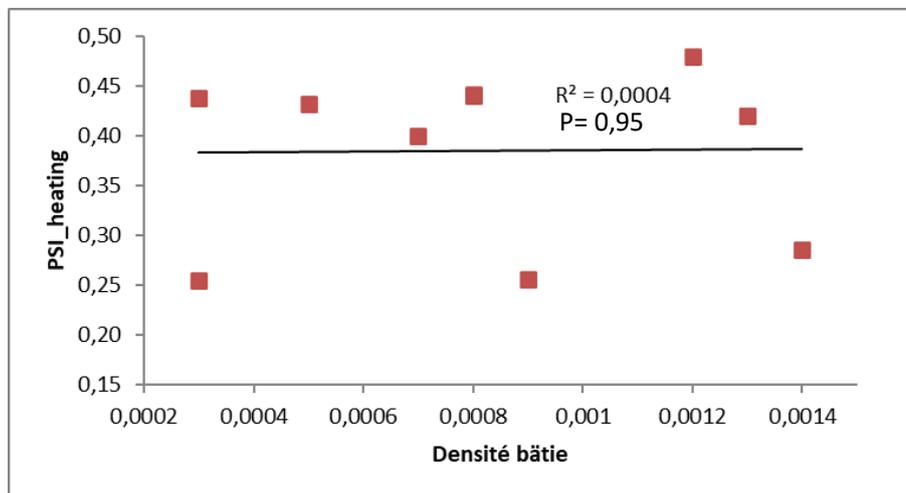


Figure 6. Régression linéaire de PSI_heating et la densité bâtie

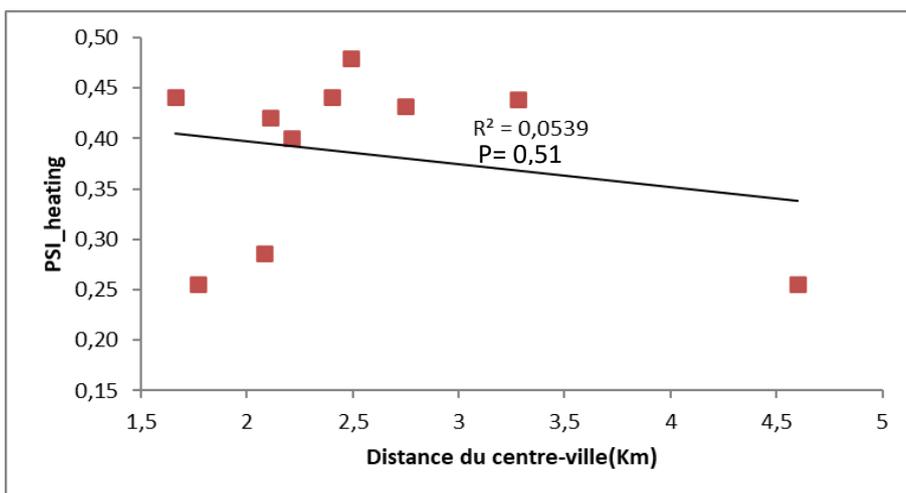


Figure 7. Régression linéaire de PSI_heating et la distance du centre-ville

II.3. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling

Tableau 2. Les valeurs de corrélation de Pearson calculées entre le PSI_cooling et les paramètres de la morphologie urbaine.

Paramètre de morphologie urbaine	PSI_cooling
Hauteur moyenne	0,016
Floor area ratio	0,177
Plot ratio	-0,050
Couverture de site	0,297
Volume area ratio	-0,320
Densité bâtie	0,074
Distance du centre-ville	0,181

Le [Tableau 2](#) illustre les résultats de la corrélation de Pearson (r) entre l'indicateur de performance solaire PSI_cooling et les paramètres de la morphologie urbaine. Les résultats sont relativement faibles et ne dépassent pas la valeur de 0.32 calculée pour le volume area ratio. Le floor area ratio, la couverture de site, et la distance du centre-ville affichent les résultats 0.17, 0.29, et 0.18 respectivement. Les trois autres paramètres : hauteur moyenne, plot ratio et densité bâtie affichent les résultats les plus faibles qui ne dépassent pas les 5%.

II.4. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur PSI_cooling

Pour PSI_cooling, les paramètres morphologiques montrent de faibles corrélations linéaires ([Figures de 8 à 14](#)).

Ce n'est guère inattendu car toute la zone des toits et la majeure partie de la surface de la façade sont exposées au rayonnement solaire pendant l'été. Ce résultat s'explique par le peu de paramètres qui auraient un impact direct sur la surface d'ombrage des toitures, en théorie. De plus, les faibles valeurs de densité et de compacité représentées par les cas étudiés réduisent les zones ombragées des façades. Par conséquent, la variation de l'indice de refroidissement passif des quartiers d'immeubles au cours de l'été ne peut être attribuée à la variation de tous les paramètres étudiés.

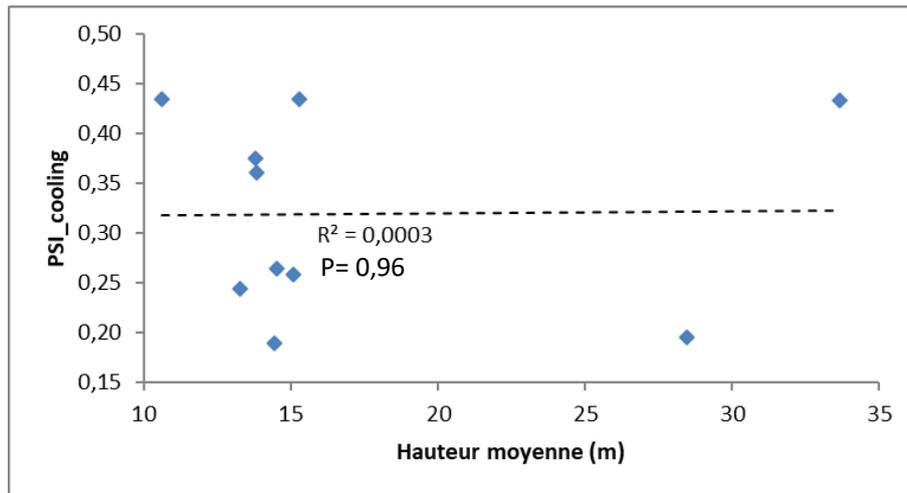


Figure 8. Régression linéaire de PSI_cooling et la hauteur moyenne

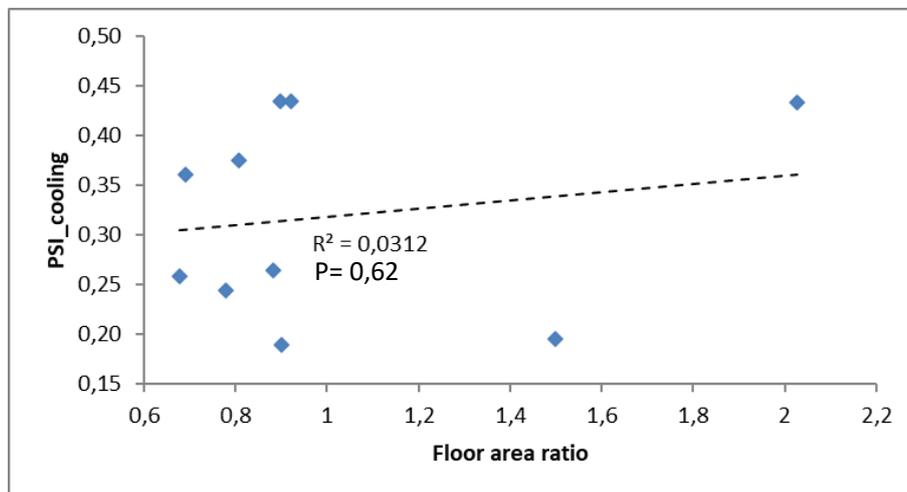


Figure 9. Régression linéaire de PSI_cooling et le floor area ratio

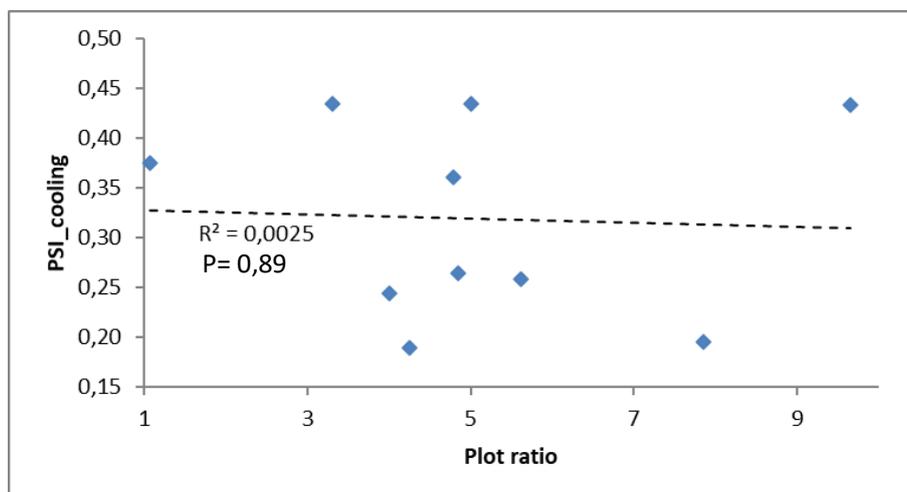


Figure 10. Régression linéaire de PSI_cooling et le plot ratio

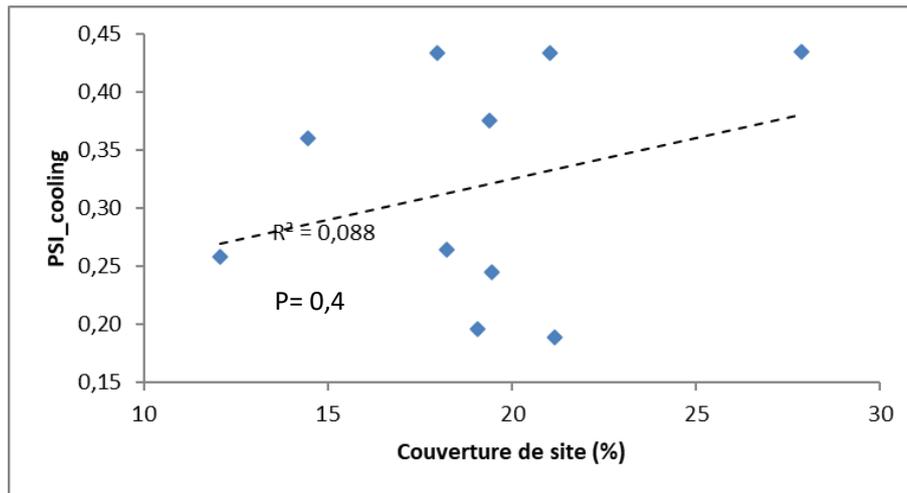


Figure 11. Régression linéaire de PSI_cooling et la couverture de site

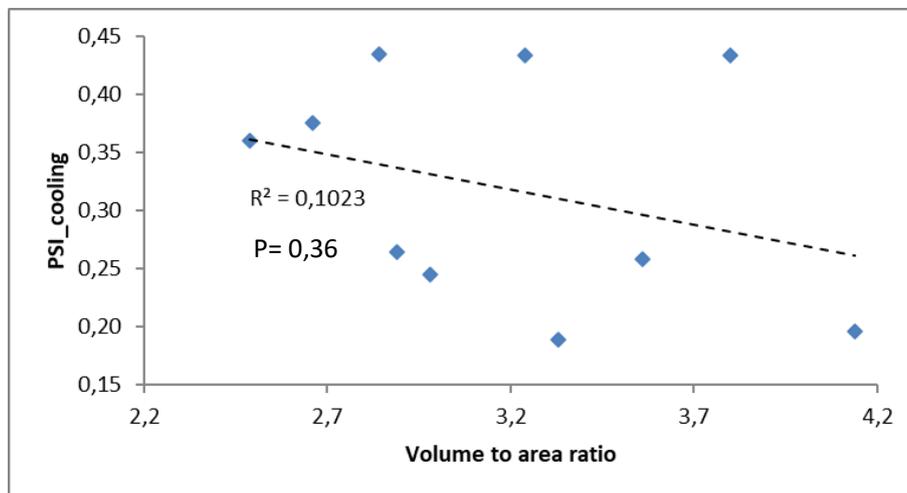


Figure 12. Régression linéaire de PSI_cooling et le volume area ratio

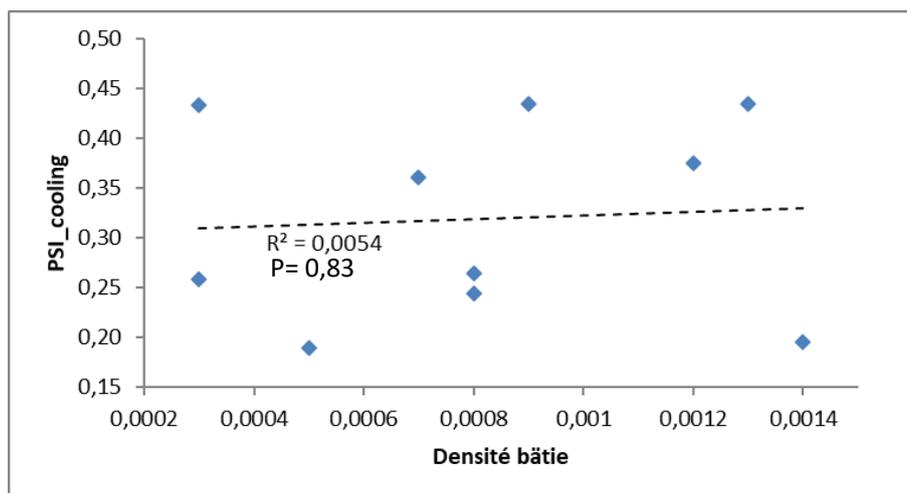


Figure 13. Régression linéaire de PSI_cooling et la densité bâtie

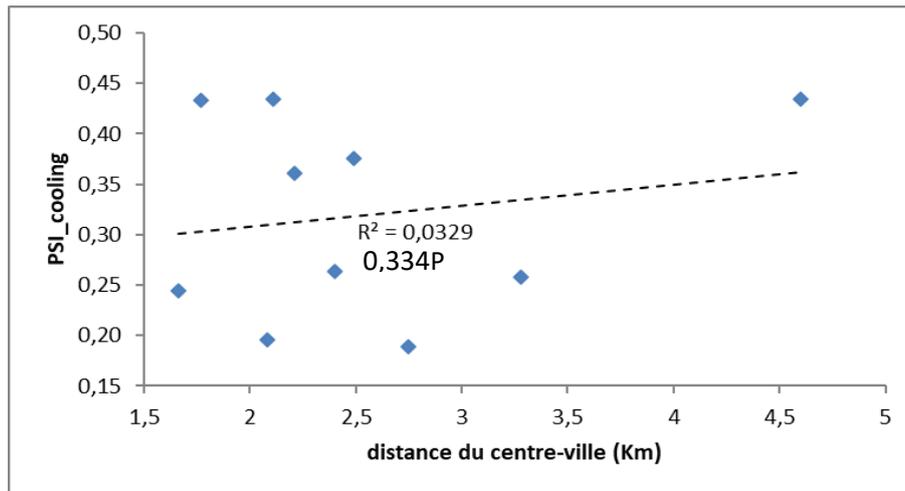


Figure 14. Régression linéaire de PSI_cooling et la distance du centre-ville

III.MORPHOLOGIE URBAINE ET INDICATEURS DE PERFORMANCE SOLAIRE ACTIFS

III.1. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi

Tableau 3. Les valeurs de corrélation de Pearson calculées entre le ASCi et les paramètres de la morphologie urbaine.

Paramètre de morphologie urbaine	ASCi
Hauteur moyenne	-0,713
Floor area ratio	-0,672
Plot ratio	-0,710
Couverture de site	0,000
Volume area ratio	-0,743
Densité bâtie	0,011
Distance du centre-ville	-0,341

Le **Tableau 3** illustre les résultats de la corrélation de Pearson (r) entre l'indicateur de performance solaire ASCi et les paramètres de la morphologie urbaine.

En comparant les performances de corrélation sur cet indicateur, le volume area ratio est le paramètre qui a la plus forte corrélation linéaire avec le chauffage actif. Elle est de l'ordre de 74%. Le floor area ratio, le plot ratio, la hauteur moyenne ont maquées des résultats

relativement hauts. Les valeurs de corrélation sont négatives ce qui indique une relation inversement proportionnelle entre ces paramètres et le l'indice du chauffage actif. Cependant, la densité bâtie, et la couverture de site présentent les résultats les moins expressives.

III.2. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur ASCi

Les **Figures de 15 à 21** montrent les diagrammes de dispersion entre sept paramètres morphologiques avec l'indice solaire actif (ASCi).

Ce sont constamment les indicateurs de plot ratio, de la hauteur moyenne de bâtiment, de floor area ratio et de volume area ratio qui ont révélé des corrélations significatives avec de légers changements dans les valeurs des résultats. Lorsque ces indicateurs augmentent, l'ASCi diminue. Les coefficients de détermination (R^2) de ces indicateurs à l'indice capteur solaire actif sont relativement conséquents. Il est d'environ 0,45 pour le floor area ratio, de 0,50 pour le plot ratio et la hauteur moyenne des bâtiments, et de 0,55 comme valeur maximale pour le floor area ratio. Les niveaux de signification sont respectivement de 0,03, 0,02, 0,02 et 0,01. Cela signifie que 45 à 55 % de la variation de l'indice du capteur solaire actif peut être liée à la variation de ces quatre indicateurs. De plus, seulement 1% à 3% de tous les échantillons étudiés ne sont pas soumis à ces résultats.

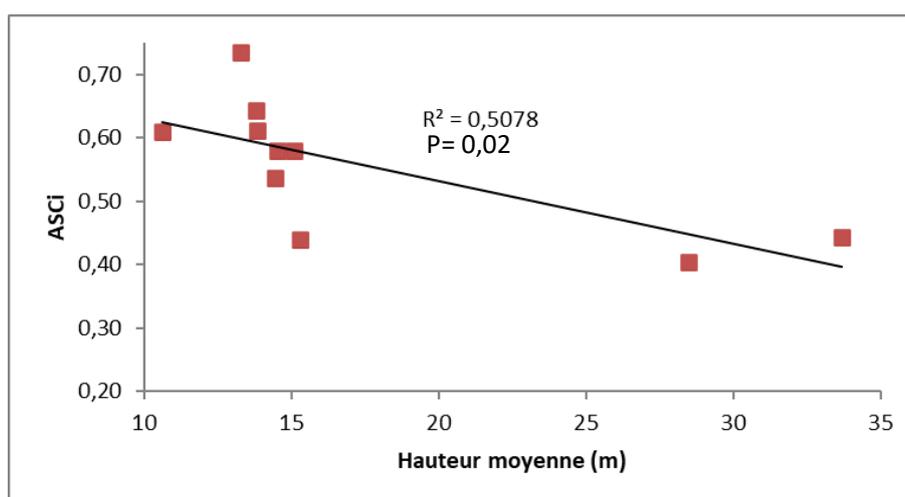


Figure 15. Régression linéaire de ASCi et la hauteur moyenne

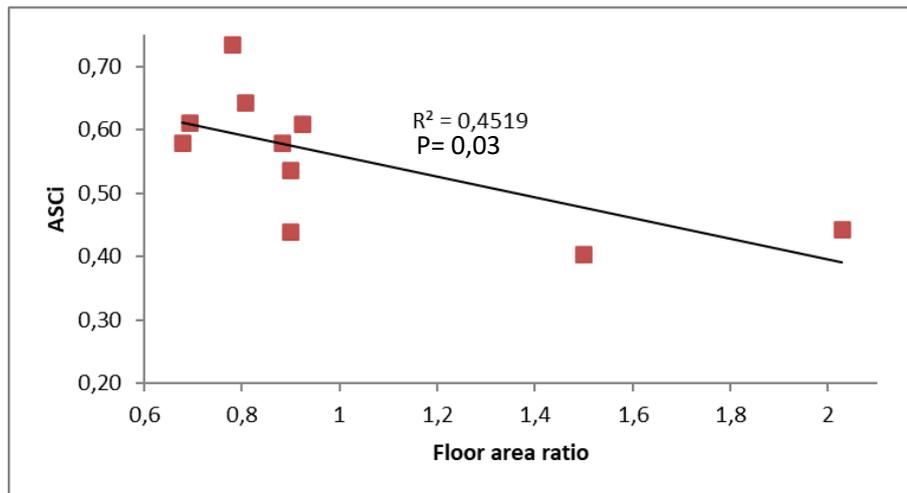


Figure 16. Régression linéaire de ASCi et le floor area ratio

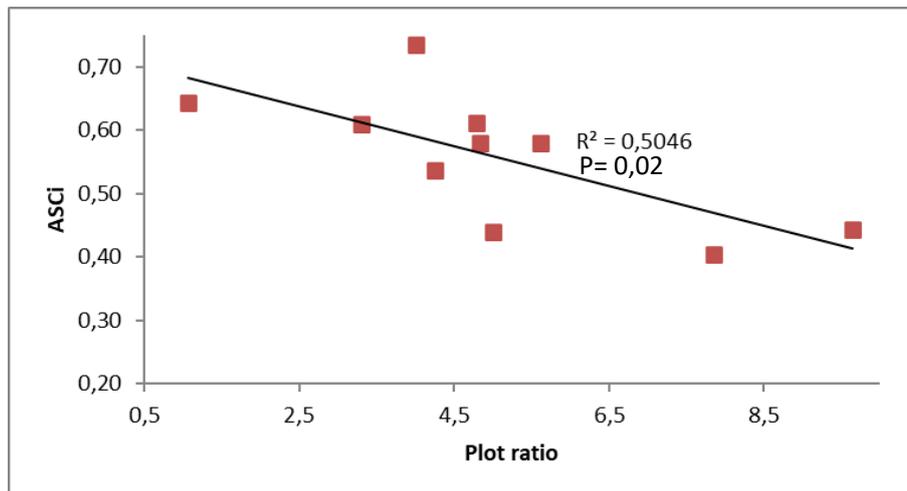


Figure 17. Régression linéaire de ASCi et le plot ratio

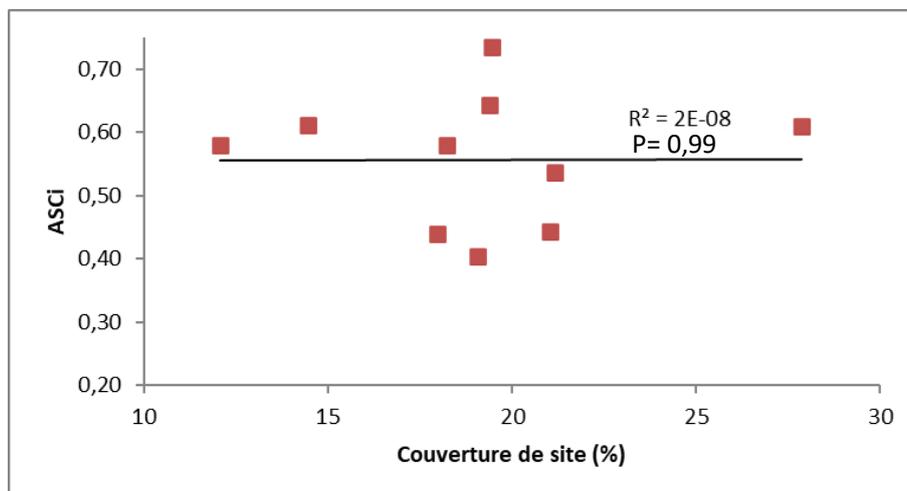


Figure 18. Régression linéaire de ASCi et la couverture de site

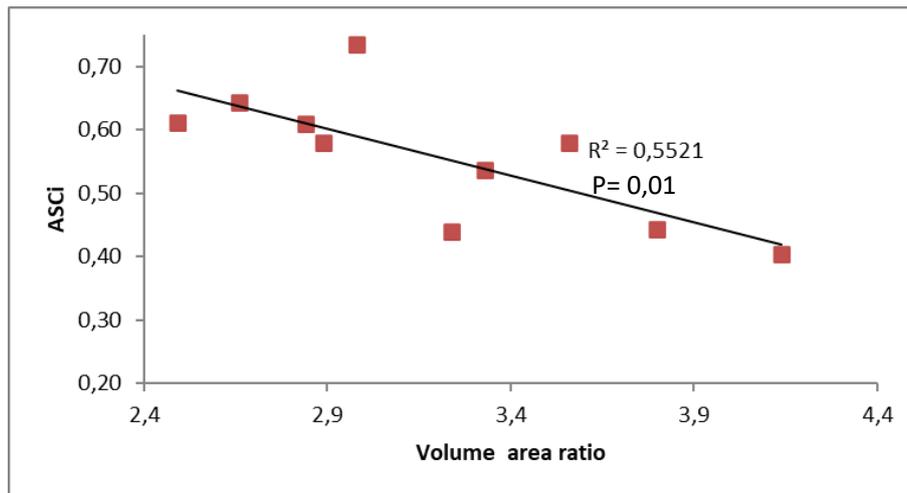


Figure 19. Régression linéaire de ASCI et le volume area ratio

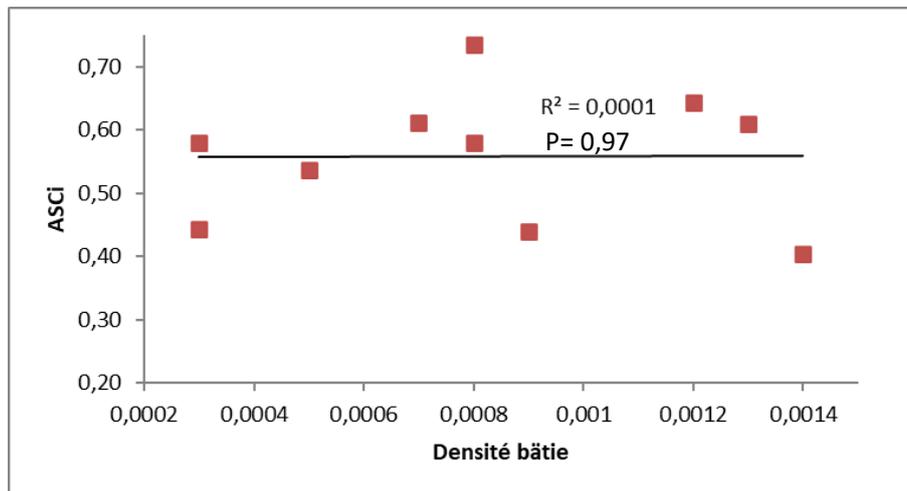


Figure 20. Régression linéaire de ASCI et la densité bâtie

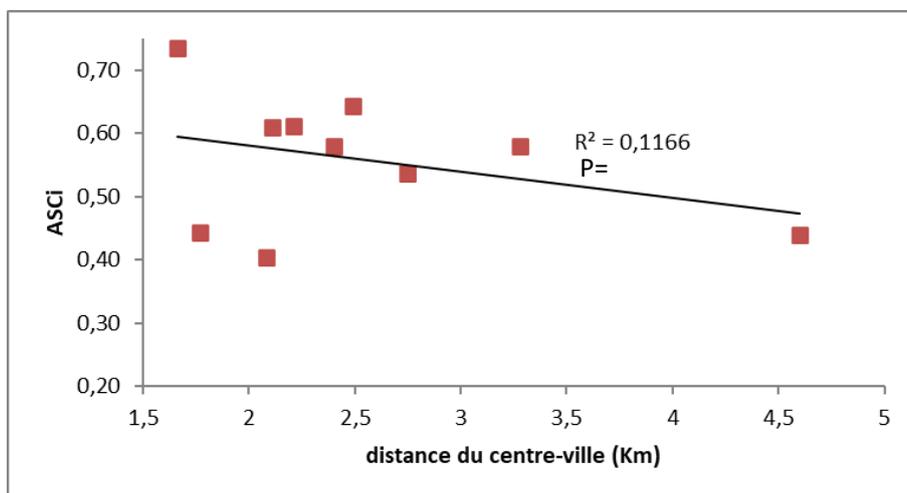


Figure 21. Régression linéaire de ASCI et la distance du centre-ville

III.3. Corrélations entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi

Tableau 4. Les valeurs de corrélation de Pearson calculées entre le BIPVi et les paramètres de la morphologie urbaine.

Paramètre de morphologie urbaine	BIPVi
Hauteur moyenne	-0,838
Floor area ratio	-0,829
Plot ratio	-0,816
Couverture de site	-0,089
Volume area ratio	-0,700
Densité bâtie	0,000
Distance du centre-ville	-0,120

Le **Tableau 4** montre les valeurs de corrélation de Pearson calculées entre le BIPVi et les paramètres de la morphologie urbaine.

En comparant les performances de corrélation sur cet indicateur, la hauteur moyenne des bâtiments est le paramètre qui a la plus forte corrélation linéaire avec l'indicateur de la technologie photovoltaïque. Elle est de l'ordre de 83%. Le floor area ratio, le plot ratio, le volume area ratio ont maquées des résultats relativement hauts. Ils affichent les valeurs de 0.82, 0.81, et 0.7 respectivement. Les valeurs de corrélation sont tous négatives ce qui indique une relation inversement proportionnelle entre les paramètres morphologiques et l'indicateur de la technologie photovoltaïque. Cependant, la densité bâtie, et la couverture de site, et la distance du centre-ville présentent les résultats les moins expressives.

III.4. Régression linéaire entre les paramètres de la Morphologie urbaine et l'indicateur BIPVi

Les **Figures de 22 à 28** montrent les diagrammes de dispersion entre sept paramètres morphologiques avec l'indice solaire actif (BIPVi).

Les résultats affirment que le paramètre morphologique qui a la corrélation linéaire la plus forte est la hauteur moyenne des bâtiments ($R^2=0,70$), suivi du floor area ratio ($R^2=0,68$), du plot ratio ($R^2=0,66$) et du volume area ratio ($R^2= 0,49$), respectivement. Toutes les «

valeurs P » associées sont $< 0,05$. De plus, les diagrammes de dispersion reflètent que plus le paramètre morphologique d'un échantillon est élevé, plus l'indice photovoltaïque peut être étroit, et vice versa. Généralement, les échantillons avec une configuration de bloc compact en hauteur ne sont pas adaptés pour recevoir des panneaux photovoltaïques. que les échantillons avec une configuration détachée basse en raison de l'ombrage des bâtiments voisins.

Le floor area ratio et la hauteur moyenne des bâtiments sont des paramètres sélectionnés par (Tian & Xu, 2021) pour leurs blocs résidentiels étudiés dans le centre de la Chine. En accord avec les résultats de cette étude, ces deux paramètres ont eu le plus grand impact sur la modification du résultat du modèle. La densité de construction est également un paramètre très influent dans leur étude, contrairement aux résultats obtenus ici, où ce paramètre présente une valeur de coefficient de détermination multiple proche de 0. Il est intéressant de noter que la couverture du site, qui détermine la distance entre les bâtiments, et la distance au centre-ville ont également eu de faibles corrélations linéaires. La raison est en partie liée à la variance non significative des valeurs de couverture des sites calculées pour les échantillons sélectionnés. De plus, les écarts de densité sont modérés quelle que soit la distance entre les échantillons et le centre-ville.

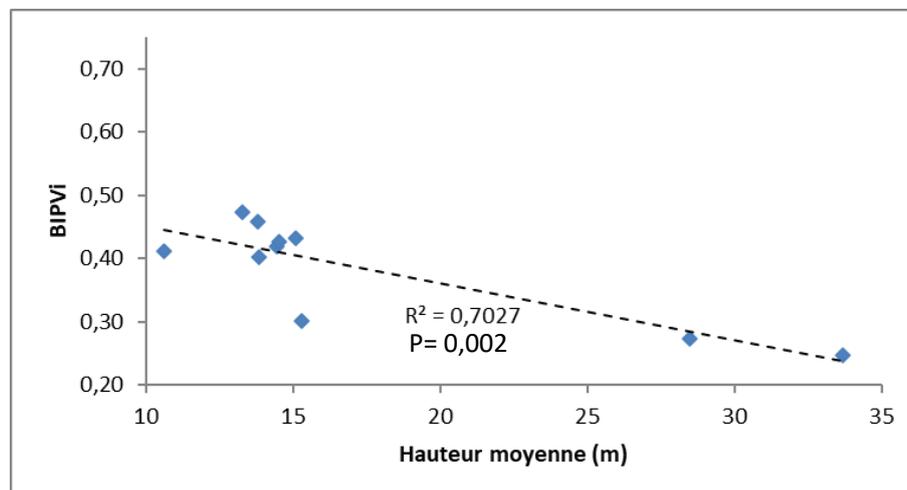


Figure 22. Régression linéaire de BIPVi et la hauteur moyenne

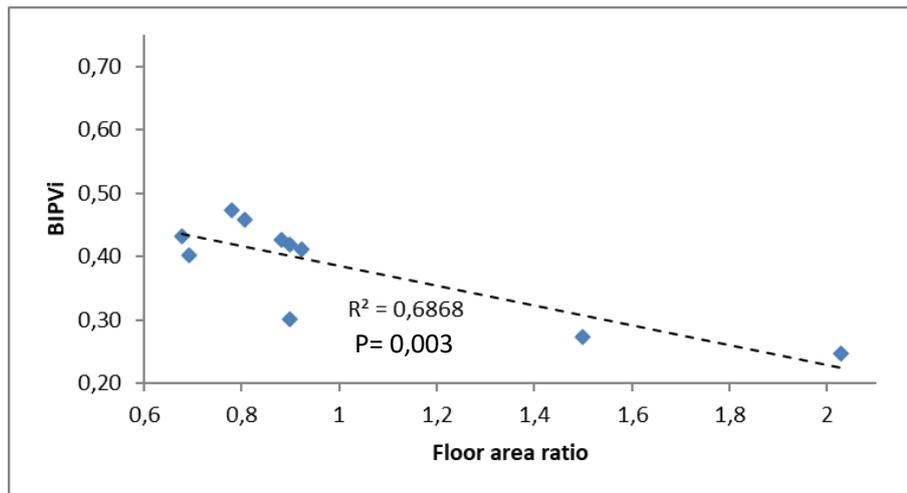


Figure 23. Régression linéaire de BIPVi et le floor area ratio

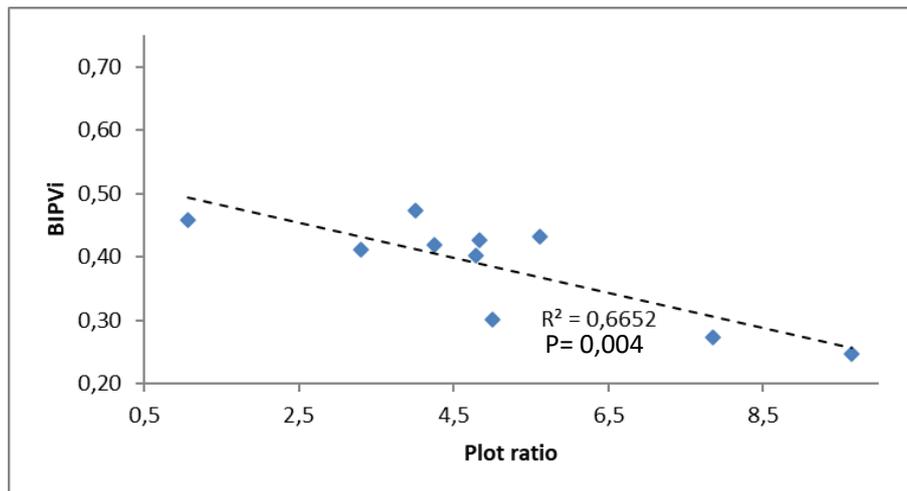


Figure 24. Régression linéaire de BIPVi et le plot ratio

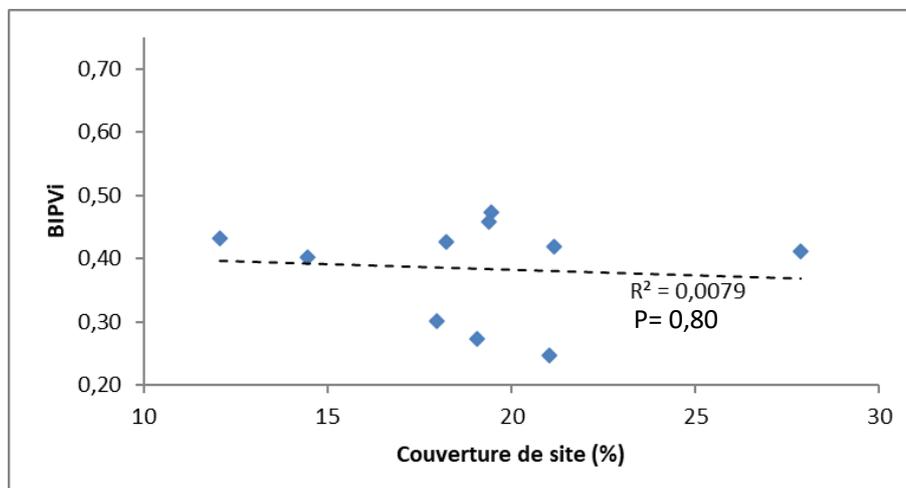


Figure 25. Régression linéaire de BIPVi et la couverture de site

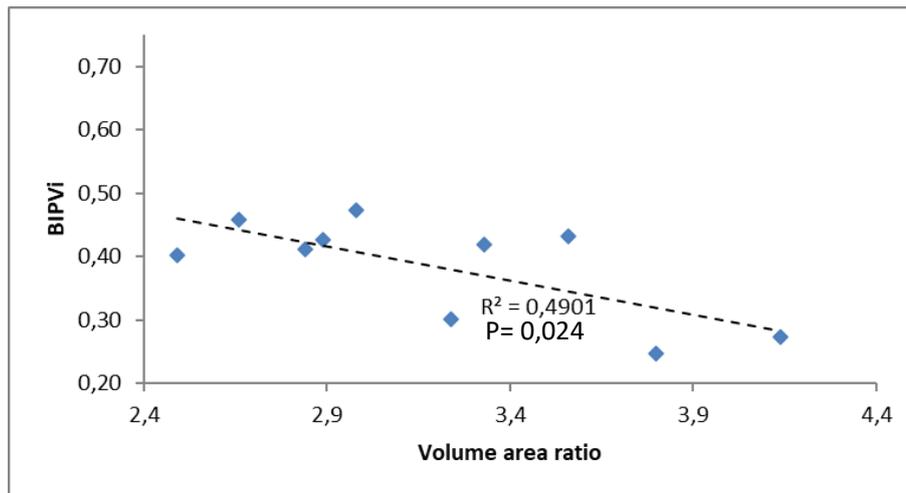


Figure 24. Régression linéaire de BIPVi et le volume area ratio

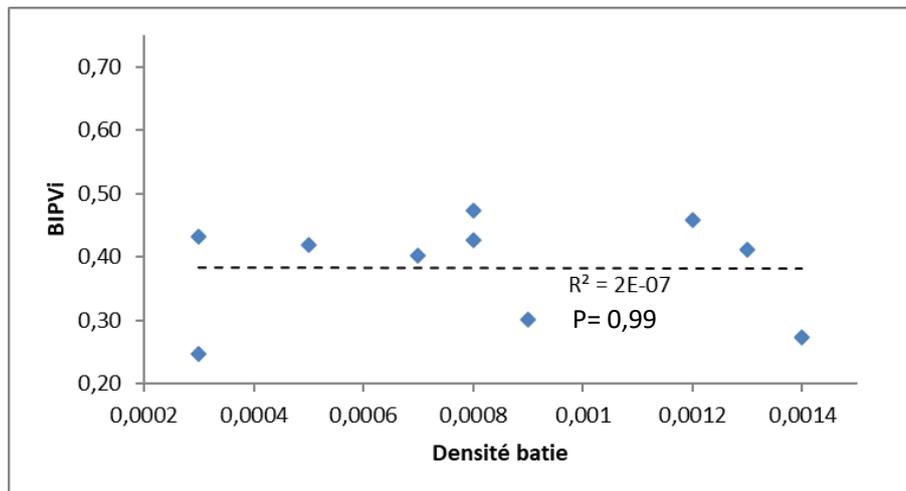


Figure 27. Régression linéaire de BIPVi et la densité bâtie

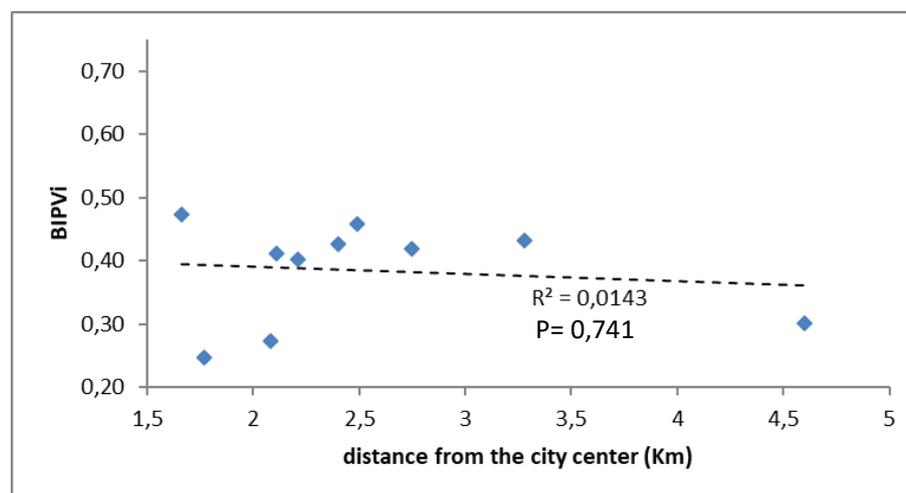


Figure 28. Régression linéaire de BIPVi et la distance du centre-ville

IV. ENTROPIE DES ORIENTATIONS DES FAÇADES

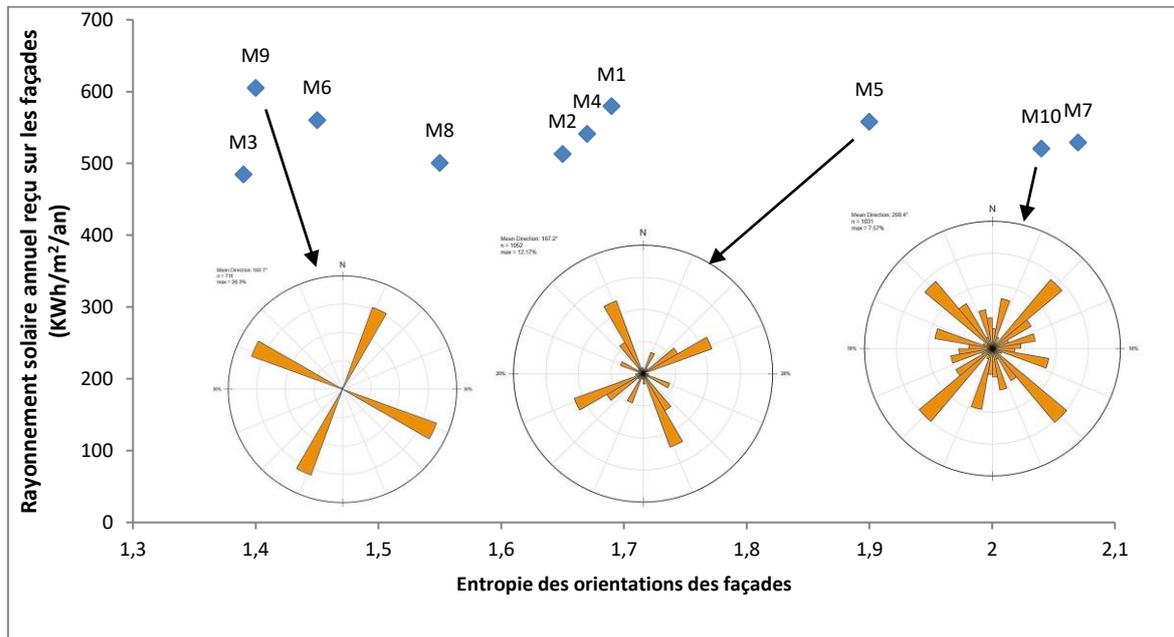


Figure 29. La relation entre l'entropie du tissu urbain forme les orientations des façades et l'irradiation solaire annuelle reçue sur les façades.

L'entropie est utilisée pour évaluer la dispersion de l'orientation des façades. Les valeurs calculées de l'entropie d'orientation des façades pour les dix formes de tissu urbain étudiées sont données dans la [Figure 29](#). La gamme d'estimations d'entropie est assez limitée, variant de 1,39 à 2,07, ce qui montre qu'il y a une variation minimale dans l'orientation des façades à travers le tissu urbain étudié. Plus l'entropie est élevée, plus les orientations des façades sont dispersées ([M10 sur la Figure 29](#)). Plus l'entropie est faible, plus les orientations des façades sont régulièrement réparties ([M9 sur la Figure 29](#)). Les résultats présentés dans la [Figure 29](#) démontrent également l'absence d'une relation claire entre l'entropie des orientations des façades et l'irradiation solaire annuelle reçue sur les façades. L'impact de l'orientation des façades sur le potentiel solaire dépend d'autres facteurs. Les formes de tissu urbain M3 et M9, par exemple, obtiennent respectivement l'irradiation solaire la plus faible et la plus élevée sur leurs façades, avec deux niveaux d'entropie pratiquement comparables. Malgré les différences d'entropie d'orientation, la différence significative des niveaux d'irradiation dans cette situation est liée aux différences de couverture des sites (12,05 % en M9 ; 27,88 % en M3). Ces résultats sont parfaitement en accord avec les conclusions de [Mohajeri \(2016\)](#).

V. CONCLUSION

Une analyse statistique utilisant les corrélations et les régressions linéaires a été réalisée pour étudier la relation entre les paramètres morphologiques et les indicateurs de performance solaire. Les données obtenues ont indiqué que le plot ratio, la hauteur moyenne des bâtiments, le floor area ratio et le volume area ratio affichent des corrélations linéaires négatives considérables avec le Ψ_{heating} ; BIPVi; et ASCi, et leurs « P value » sont toutes inférieures à 0,05. Ce qui exprime une forte relation inversement proportionnelle entre ces paramètres et le potentiel solaire.

Pour les stratégies passives, la valeur maximale calculée pour les coefficients de corrélation R^2 appartient au plot ratio et atteint 0,59. Cependant, cette valeur est portée à plus de 0,7 pour les stratégies actives entre la hauteur moyenne des bâtiments et le BIPVi.

En conclusion, l'approche créée dans cette étude peut être utilisée pour effectuer une première estimation de l'irradiation solaire sur l'enveloppe des bâtiments. Elle peut être utilisée comme modèle pour la conception et la planification urbaines basées sur la performance dans d'autres régions et types de bâtiments sous des climats semi-arides.

CONCLUSION GENERALE

Table des matières

CONCLUSION GENERALE.....	172
Limites de recherche.....	176
Perspectives de développement.....	177

CONCLUSION GENERALE

La consommation d'énergie par habitant en Algérie se classe parmi les plus élevées au monde. De plus, la demande croissante de diverses sources d'énergie a un impact négatif sur l'environnement et la qualité de vie des habitants. À cet égard, le rayonnement solaire est une source d'énergie alternative qui connaît une véritable révolution partout dans le monde en raison de ses nombreux avantages. En revanche, notre pays dispose d'un très grand champ solaire, qui reçoit une énergie totale estimée à 5 000 fois la consommation annuelle d'électricité. Cette opportunité particulière nous a fait réfléchir aux possibilités d'utilisation de cet immense gisement pour le chauffage passif et actif, le photovoltaïque, l'éclairage naturel ou encore la climatisation. En effet, de nombreuses applications de l'énergie solaire, notamment dans le secteur du bâtiment, ne sont pas bien adaptées à l'environnement urbain algérien pour diverses raisons, notamment les fortes densités qui laissent de grandes zones urbaines dans l'ombre. C'est pour cette raison fondamentale que nous avons décidé de rechercher la configuration urbaine la plus appropriée pour le climat semi-aride. Une configuration qui maximise et polarise les revenus des flux solaires pour améliorer les performances des principaux modes de captage du rayonnement solaire direct, qu'ils soient passifs ou actifs. Toutefois, cette dernière doit éviter la surchauffe due à un rayonnement excessif pendant les périodes estivales.

La thèse propose une nouvelle approche pour évaluer les systèmes d'énergie solaire dans un environnement urbain et un climat semi-aride. En outre, elle analyse l'impact de chaque paramètre de la morphologie urbaine sur la performance solaire dans ce contexte. Le but est de promouvoir une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire dans les quartiers urbains résidentiels et de piloter les stratégies de déploiement de cette énergie dans les bâtiments et quartiers urbains.

Une section de conclusion est incluse dans chaque chapitre, résumant la contribution tout en mettant en évidence les limites de la méthodologie développée. Dans ce qui suit, nous allons présenter tout d'abord un récapitulatif des différentes conclusions acquises de la recherche théorique. Ensuite, nous examinons les points saillants de la thèse à un niveau plus holistique, en tenant compte de l'interrelation entre les chapitres. Cette conclusion comprend également deux sous-sections : La première présente les apports majeurs de cette thèse tandis que la deuxième en souligne les limites et les perspectives.

En préambule de ce travail, une revue de littérature a permis de dresser un panorama théorique et d'identifier un ensemble de travaux se rapportant au plus proche de la question. L'utilisation de l'analyse bibliométrique dans la rédaction de revue de littérature a été mise en évidence dans le premier chapitre. Cette approche utilise l'analyse quantitative sur le « Meta-Data » disponible dans les bases de données documentaires afin de révéler des modèles et des associations concernant les interactions entre les recherches traitant sur un même sujet. L'ensemble des indicateurs, sources documentaires, et outils utilisés dans cette approche ont été définis. L'application VOSviewer a été sélectionnée pour effectuer notre analyse bibliométrique. Le choix a été effectué en fonction de ses multiples qualités et les diverses analyses que cet outil peut effectuer. De plus, l'outil est gratuit et nécessite pas de licence pour son utilisation.

Les villes de demain ne seront pas seulement consommatrices d'énergie, elles seront aussi productives de l'énergie renouvelable, souvent grâce à l'énergie solaire. Le deuxième chapitre présente différentes méthodologies et approches ainsi que les outils qui vont avec que les chercheurs ont utilisés pour évaluer le potentiel solaire urbain. C'est une manière de découvrir -à travers la littérature- comment les nouveaux environnements urbains tirent davantage de l'énergie solaire active et passive. Aujourd'hui, différentes stratégies sont pratiquées par les planificateurs locaux concernant l'intégration de l'énergie solaire dans la planification urbaine. Dans ce chapitre, l'accent est mis sur les approches, les méthodes et les outils qui peuvent être généralisés et aider à la prise de décision dans différents contextes de planification. C'est une présentation d'un background sur les travaux présents dans la littérature exhibant des approches d'évaluation du potentiel solaire dans l'environnement urbain. Ce cadre théorique a fourni un aperçu sur les outils et les méthodes appliqués par les chercheurs afin d'évaluer et de quantifier le potentiel solaire des façades et toitures situées dans les zones urbaines.

L'analyse thématique du deuxième chapitre a montré que la plupart des modèles sont conçus spécialement pour évaluer le potentiel photovoltaïque sur les toitures. Ce qui apparaît clairement comme des lacunes à deux égards :

- 1- De nombreuses technologies solaires autres que les panneaux solaires photovoltaïques ont fait leurs preuves comme solution efficace, soit pour réduire la consommation énergétique (chauffage passif, éclairage naturel) ou pour produire de l'énergie renouvelable (collecteurs thermiques). De ce fait, l'utilisation de ces technologies

dans les tissus urbains méritent d'être évalués et leur contribution dans les bilans énergétiques doit être estimée.

2- La surface des façades dans les quartiers urbains est -au minimum- deux fois plus grande que celle des toitures. C'est précisément pour cette raison que la recherche ne doit pas se concentrer uniquement sur les toitures. Le montage des différentes technologies solaires sur les façades va sûrement contribuer efficacement au bilan énergétique.

Le concept de « l'évaluation énergétique » à la base de la modélisation tridimensionnelle de la géométrie offre l'avantage de surmonter ces lacunes. Encore, il offre de précieuses possibilités pour étudier multitude critères de performance solaire. L'outil Ladybug peut contribuer à trouver des solutions valables à l'équilibre problématique entre la promotion de l'énergie solaire et la protection du contexte urbain. L'outil a été sélectionné pour être utilisé dans la quantification énergétique et analyses solaires dans cette thèse.

Le dernier chapitre de la phase théorique a mené une synthèse des études qui se sont concentrées sur l'impact de la morphologie urbaine et la géométrie du bâtiment sur le potentiel solaire. C'est un cadre théorique qui est d'une grande importance dans le cas de notre étude car il constitue un moyen d'identifier les jeux d'indicateurs et de paramètres de la morphologie urbaine influençant la performance solaire des bâtiments présents dans la littérature. La connaissance de ces paramètres va appuyer le choix des cas d'étude et la sélection des paramètres à investiguer dans les parties analytiques. Il a pu être démontré que les solutions diffèrent suivant le temps, le climat et la latitude. Néanmoins, la position du soleil et l'état du ciel affectent largement le choix de la forme et doivent être considérés lors de la conception.

La tendance des publications montre qu'il y a eu un nombre important de publications sur le sujet depuis 2014. L'augmentation récente des publications sur ce sujet est conforme aux efforts mondiaux pour réaliser la transition énergétique durable, qui est un élément majeur des programmes gouvernementaux dans la plupart des pays du monde. En effet, malgré la différence dans les objectifs, les questions de recherche, les domaines et les cas d'études que représente le corpus analysé, la tendance énergétique est le principal concept sur lequel ce domaine de recherche est construit.

L'analyse thématique a montré qu'à l'exception de quelques modestes tentatives, peu de recherches ont investiguées la forme urbaine dans les climats semi-aride. L'avantage est

toujours pris par les deux cas extrêmes : la maximisation des gains solaires à cause des grands besoins en matière d'énergie solaire propre dans le climat froid, ou encore la minimisation des apports solaire d'été dans le climat chaud et aride. Dans le climat semi-aride, la recherche doit tenir en compte les deux cas opposés : bénéficier de l'énergie solaire au maximum en hiver, et se protéger des rayons solaires indésirables avant qu'elles frappent l'enveloppe bâti en été. Une dualité qui pose un sérieux problème aux concepteurs et suppose d'être abordée avec des outils efficaces.

Cette thèse révèle l'identification de meilleures configurations à travers les bâtiments résidentiels collectifs existants de la ville de Batna en évaluant leurs performances solaires. L'étude a porté sur dix modèles représentatifs de quartiers résidentiels collectifs existants. Il étudie leurs caractéristiques de distribution du potentiel solaire, en tenant compte des variations saisonnières. Neuf paramètres ont été considérés pour décrire le patron morphologique des modèles choisis. En outre, la disponibilité solaire est estimée à l'aide de simulations horaires de 716 Bâtiments résidentiels collectif. L'irradiation solaire annuelle cumulée de chaque modèle est obtenue et présentée numériquement et visuellement. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Les formes de tissu urbain caractérisées par des immeubles de grande hauteur et une configuration attenante, un rapport volume/surface élevé, une couverture de site élevée et une densité élevée reçoivent le moins d'irradiation solaire sur les façades de ses bâtiments. Cette conclusion ne s'applique pas aux toitures où les variations de résultats n'étaient pas significatives.
- Les toits reçoivent deux fois plus de rayonnement solaire que les façades en hiver et environ quatre fois plus en été.
- L'examen de l'effet saisonnier sur la disponibilité solaire démontre des attitudes différentes envers les gains solaires en hiver et en été par rapport à ceux enregistrés pour toute l'année. Pendant la saison froide, le rapport plancher-surface, le rapport volume-surface, la couverture du site et la hauteur moyenne des bâtiments sont inversement liés aux apports solaires.
- Les configurations avec des orientations dominantes les plus proches du Sud (-45° et 45°) conduisent à l'irradiation la plus forte pour les sites investigués.

De plus, cette recherche a démontré la faisabilité d'utiliser des indicateurs de performance solaire pour comparer les configurations étudiées et définir la technologie solaire

appropriée pour chacun. Les valeurs moyennes calculées des indicateurs de performance solaire recommandent ce qui suit :

- Les échantillons montrant une hauteur de bâtiment constante, un faible rapport volume/surface, une faible couverture du site, une faible densité et une configuration détachée obtiennent les meilleurs résultats des indicateurs de performance solaire. Le capteur solaire thermique est la technologie solaire la plus efficace dans le contexte étudié. Les niveaux les plus bas apparaissent pour les techniques solaires passives de refroidissement.
- La forme urbaine la plus efficace des technologies solaires actives est M4, tandis que M7 est la plus efficace des technologies solaires passives.

En outre, il a été démontré qu'une partie substantielle des façades et des toits des bâtiments sont appropriés pour les différents types de technologies solaires considérés. Comme visé dans le cadre du projet « Energy Action Plan SEAP », une forte réduction de la consommation d'énergie non renouvelable des sites urbains étudiés peut raisonnablement être envisagée pour l'avenir. Il serait également intéressant d'étendre cette analyse à d'autres villes pour apporter des connaissances plus fines dans la planification des villes solaires. En plus de l'avantage des premières étapes de conception mentionnées dans la section précédente, les résultats proposés peuvent être utilisés pour créer une base de données d'exemples "efficaces et inefficaces" de districts existants en utilisant les mêmes méthodes d'analyse employées dans l'étude actuelle. Cette collection serait extrêmement utile aux urbanistes et aux architectes.

Limites de recherche

Cette étude est fondamentalement basée sur la simulation informatique. Bien que les programmes de simulation aient été largement validés, des variations de caractéristiques géographiques (latitude), climatiques et architecturales pourraient considérablement affecter les résultats.

L'utilisation d'un niveau de détail plus élevé modifiera certainement les résultats, en particulier sur les façades. L'insertion de fenêtres, de portes, de brise-soleil ou de tout élément produisant une ombre sur les façades influencera par conséquent les résultats.

Le contexte environnemental et les conditions climatiques dans cette recherche ont été limités au contexte de Batna. Nous nous attendons à obtenir des résultats différents dans d'autres contextes, notamment en ce qui concerne les effets des paramètres climatiques et morphologiques. De plus, les simulations solaires sont basées sur les conditions du ciel de Batna. Par conséquent, les résultats pourraient ne pas être applicables dans des endroits avec des conditions de ciel différentes, même s'ils se trouvent dans une zone climatique semi-aride.

En outre, les conclusions sont basées sur des données préliminaires sur seulement dix échantillons de formes de tissu urbain construit réel. De ce fait, certains paramètres morphologiques ne présentent qu'une légère variation. Par conséquent, les résultats ne sont basés que sur une quantité limitée de données. L'ajout d'autres cas réels ou théoriques enrichira sans aucun doute les résultats de l'étude.

Les investigations dans cet article sont exécutées sur des immeubles d'appartements qui ne constituent qu'une typologie d'immeubles résidentiels. Il n'est donc pas possible de généraliser les résultats de cette étude aux différents schémas ou typologies d'habitat. L'étude doit s'étendre aux schémas d'habitation individuels et semi-groupes pour traduire les résultats en législation urbaine et recommandations de conception.

Perspectives de développement

Sur la base de l'approche méthodologique adoptée dans cette recherche et des résultats acquis, plusieurs investigations futures sont envisagées :

- L'approche créée dans cette étude peut être utilisée pour effectuer une estimation initiale de l'irradiation solaire sur les enveloppes des bâtiments dans d'autres régions et types de bâtiments sous des climats semi-arides.
- La procédure d'évaluation adoptée permet d'estimer le potentiel solaire mobilisable pour un quartier ou une commune et de le rattacher à des statistiques urbaines (habitants, emplois, volume des bâtiments, etc..) ; Ce dernier peut intéresser les responsables communaux ou certains gros propriétaires pour développer des programmes de développement du solaire
- N'importe quel nouveau bâtiment émet un ombre qui peut poser des problèmes d'ensoleillement aux bâtiments voisins, surtout ceux qui contiennent des collecteurs solaires. Dans ce cas, le rendement de ces systèmes va être réduit

considérablement. Notre méthode d'évaluation peut être employée pour mesurer exactement la réduction de l'énergie disponible provoquée par cette nouvelle obstruction. Ainsi, elle peut servir à identifier les emplacements appropriés aux collecteurs et vérifier le gisement disponible avant l'application afin d'éviter les dommages économiques liés à l'intégration non contrôlée de ces systèmes.

- Estimer l'effet de la plantation d'arbres sur l'accès solaire et l'éclairage naturel à l'intérieur de bâtiments.
- Les indices de performance solaire peuvent être étendus à d'autres performances affectées par les modifications de la configuration urbaine, telles que la ventilation et la lumière du jour. Nous pouvons alors évaluer et comparer les quartiers existants et établir un référentiel de performances de référence pour les futures conceptions urbaines en zones semi-arides.
- Une étude paramétrique peut être mise en place pour étudier la relation entre les paramètres morphologiques et les indicateurs de performance solaire afin de déterminer quel paramètre influence le plus la disponibilité solaire dans le contexte étudié. Les enseignements obtenus permettront d'établir une politique d'aménagement pour optimiser les performances solaires des tissus urbains.
- Les indicateurs de performance proposés peuvent être utilisés comme objectifs dans un processus d'optimisation multi-objectifs. Les paramètres de configuration urbaine résultant de l'étude paramétrique précédemment proposée peuvent être utilisés comme variables pour générer de nombreuses options de conception. Il peut aider considérablement les concepteurs à optimiser la configuration urbaine au stade de la conception de masse.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- Abada, Z., & Bouharkat, M. (2018). Study of management strategy of energy resources in Algeria. *Energy Reports*, 4(2018), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.09.004>
- Abbasabadi, N., & Ashayeri, J. K. M. (2019). Urban energy use modeling methods and tools : A review and an outlook. *Building and Environment*, 161(July), 106270. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106270>
- Allegrini, J., Orehounig, K., Mavromatidis, G., Ruesch, F., Dorer, V., & Evins, R. (2015). A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1391–1404. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>
- Agra, T., Martins, D. L., Adolphe, L., Eurico, L., Bastos, G., Agra, M., & Martins, D. L. (2016). Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context. *Solar Energy*, 137, 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.053>
- Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, C., Elnokaly, A., & Mills, G. (2021). Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates. *Energy & Buildings*, 236, 110762. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110762>
- Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, C., Elnokaly, A., & Mills, G. (2021). Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates. *Energy & Buildings*, 236, 110762. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110762>
- Ahmadian, E., Sodagar, B., Mills, G., Byrd, H., Bingham, C., & Zolotas, A. (2019). Sustainable cities : The relationships between urban built forms and density indicators. *Cities*, 95(June), 102382. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.06.013>
- Al Qadi, S., Elnokaly, A., & Sodagar, B. (2021). Calibrating Building Thermal Simulation Model Using Indoor Environmental Measurements. *Proceeding of the Zero Energy Mass Custom Home 2021 (ZEMCH 2021)*, 26th - 28th October.
- Al Qadi, S., Sodagar, B., & Elnokaly, A. (2018). Estimating the heating energy consumption of the residential buildings in Hebron, Palestine. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1292–1305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.059>
- Allegrini, J., Orehounig, K., Mavromatidis, G., Ruesch, F., Dorer, V., & Evins, R. (2015). A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy

- systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1391–1404. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>
- Alzoubi, H. H., & Dwairi, S. (2015). Re-assessment of national energy codes in Jordan in terms of energy consumption and solar right in residential buildings. *Sustainable Cities and Society*, 15, 161–165. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2014.10.006>
- Andreou, E. (2014). The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63, 587–596. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2013.09.051>
- APRUE. (2017). LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE- Chiffres clés Année 2017. In *Report*. http://www.aprue.org.dz/documents/Consommation_énergétique_finale.pdf
- APRUE. (2019a). *PROGRAMME ECO-BAT*. http://aprue.org.dz/documents/depl-Programme_Eco-Bat.pdf
- APRUE. (2019b). À La Lettre. In *La lettre APRUE* (Issue special issue). http://aprue.org.dz/lettres/bulletin_aprue.pdf
- Ayoub, M., & Elseragy, A. (2018). Parameterization of traditional domed-roofs insolation in hot-arid climates in Aswan, Egypt. *Energy & Environment*, 29(1), 109–130. <https://doi.org/10.1177/0958305X17741285>
- Bach, J.-F. (2011). L'utilisation de la bibliométrie dans l'évaluation scientifique des médecins et des chercheurs. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 195(6), 1223–1233. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)31981-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)31981-8)
- Bani, R. khasraw, & Jalal, S. J. (2019). Impact of shadow distribution on optimizing insolation exposure of roofs according to harness or transfer of solar energy in Sulaimani city, Iraq. *Renewable Energy*, 136, 452–462. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.01.002>
- BCA. (n.d.). *CODE ON ENVELOPE THERMAL PERFORMANCE FOR*. <https://www1.bca.gov.sg/docs/default-source/docs-corp-news-and-publications/publications/codes-acts-and-regulations/retv.pdf>
- Bendib, A., Dridi, H., Kalla, M., & Baziz, N. (2016). Spatial analysis of typhoid fever vulnerability in the city of Batna (eastern Algeria). *Environnement, Risques et Sante*, 15(3), 228–237. <https://doi.org/10.1684/ers.2016.0861>
- Berkouk, D, Bouzir, T., Mazouz, S., Boucherit, S., & Mokhtari, N. (2022). Studying the

- influence of shading devices on indoor thermal comfort in desert and Mediterranean climates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 992(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/992/1/012004>
- Berkouk, Djihed, Bouzir, T. A. K., Boucherit, S., Khelil, S., Mahaya, C., & Matallah, M. E. (2022). Evaluation of the soundscapes through the cafe terraces before and after the COVID-19 lockdown in coastal cities in Algeria. *Noise & Vibration Worldwide*, 53(7–8), 377–389. <https://doi.org/10.1177/09574565221114660>
- Berkouk, D., Bouzir, T. A. K., Boucherit, S., Khelil, S., Mahaya, C., Matallah, M. E., & Mazouz, S. (2022). Exploring the Multisensory Interaction between Luminous, Thermal and Auditory Environments through the Spatial Promenade Experience: A Case Study of a University Campus in an Oasis Settlement. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14074013>
- Berkouk, Djihed, Bouzir, T. A. K., & Mazouz, S. (2018). Numerical study of the vertical shading devices effect on the thermal performance of promotional apartments in hot dry climate of Algeria. 030040. <https://doi.org/10.1063/1.5039227>
- Bernard Pochet. (2018). *Comprendre et maitriser la littérature scientifique*. Les Presses Agronomiques de Gembloux. <https://infolit.be/CoMLiS/ch07s04.html>
- Bertha Abby Adeniji. (2019). *A Bibliometric Study on Learning Analytics*. Long Island University.
- Bibliothèque de l'Université Laval. (2022, April 23). *Bibliométrie et impact de la recherche*. <https://www5.bibl.ulaval.ca/services/soutien-a-ledition-savante-et-a-la-recherche/bibliometrie-et-impact-de-la-recherche>
- Bordeaux, B. (2021). *Bibliométrie et impact de la recherche | Bibliothèque | ULaval*. <https://www5.bibl.ulaval.ca/services/soutien-a-ledition-savante-et-a-la-recherche/bibliometrie-et-impact-de-la-recherche>
- Boutrid, M. L., & Kalla, M. (2015). La mobilité motorisée dans la ville de batna, étude de la répartition spatiale des établissements de santé vis-à-vis du chu : approche par scénarios. *BSGLg*, 64, 83–92.
- Bouzir, Z., Ghellai, N., & Mezghiche, T. (2015). Overview of solar potential, state of the art and future of photovoltaic installations in Algeria. *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(2), 427–434. <https://doi.org/10.20508/ijrer.01176>
- Brito, M. C., Redweik, P., Catita, C., Freitas, S., & Santos, M. (2019). 3D Solar Potential in

- the Urban Environment: A Case Study in Lisbon. *Energies*, 12(18), 3457. <https://doi.org/10.3390/en12183457>
- Bruun Jørgensen, O., Dahlberg, J., Deschamps, L., Delmas, A., Florio, P., Frontini, F., Garde, F., Giostra, S., Kanters, J., Kappel, K., Korolkow, M., Tilmann, K., & Lun, K. (2018). *Approaches , Methods and Tools for Solar Energy in Urban Planning*. <https://doi.org/10.18777/ieashc-task51-2018-0004>
- Chatzipoulka, C., Compagnon, R., & Nikolopoulou, M. (2016). Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. *Solar Energy*, 138, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.09.005>
- Chen, K., & Norford, L. (2017). Evaluating Urban Forms for Comparison Studies in the Massing Design Stage. *Sustainability*, 9(6), 987. <https://doi.org/10.3390/su9060987>
- Chow, A., Fung, A. S., & Li, S. (2014). GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution. *Buildings*, 4, 195–206. <https://doi.org/10.3390/buildings4020195>
- Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*, 36(4), 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.009>
- Costanzo, V., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Shahrestani, M., Oliveira, A. C., Araz, M., Hepbasli, A., & Biyik, E. (2018). A method of strategic evaluation of energy performance of Building Integrated Photovoltaic in the urban context. *Journal of Cleaner Production*, 184, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.139>
- Czachura, A., Kanters, J., Gentile, N., & Wall, M. (2022). Solar Performance Metrics in Urban Planning: A Review and Taxonomy. *Buildings*, 12(4), 393. <https://doi.org/10.3390/buildings12040393>
- De Luca, F., Dogan, T., & Sepúlveda, A. (2021). Reverse solar envelope method. A new building form-finding method that can take regulatory frameworks into account. *Automation in Construction*, 123, 103518. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103518>
- DGALN/PUCA. (2010). *LES GISEMENTS DU DEVELOPPEMENT URBAIN: Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains*. <http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-gisements-developpement-urbain-analyse-quantitative.pdf>
- DGRSDT. (2021). *Deuxième pré-appel à projets PNR*.

http://www.dgrsdt.dz/DPREP/2eme_Pnr2021_Fr.pdf

- Diane Cooper, I. (2015). Bibliometrics basics. *Journal of the Medical Library Association*, 103(4), 217–218. <https://doi.org/10.3163/1536-5050.103.4.013>
- Direction de l'Urbanisme et de la Construction, (2019).
- Egghe, L. (2005). Expansion of the field of informetrics: Origins and consequences. *Information Processing and Management*, 41(6), 1311–1316. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2005.03.011>
- Elgendy, N., & Elragal, A. (2014). *Big Data Analytics: A Literature Review Paper* (pp. 214–227). https://doi.org/10.1007/978-3-319-08976-8_16
- Elnokaly, A., Ayoub, M., & Elseragy, A. (2019). Parametric investigation of traditional vaulted roofs in hot-arid climates. *Renewable Energy*, 138, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.061>
- Elnokaly, A., & Thomas, M. (2019). Sustainable management of native landscape / woodland in the transition to a low carbon society. *Habitat International*, 90(May). <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.05.007>
- Elseragy, A., & Elnokaly, A. (2007). Assessment criteria for form environmental performance of building envelope in hot arid climates. *Sun, Wind and Architecture - The Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2007, November*, 169–175.
- Glänzel, W. (2003). *Bibliometrics as a research field: A course on Theory and Application of Bibliometric Indicators*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/242406991_Bibliometrics_as_a_research_field_A_course_on_theory_and_application_of_bibliometric_indicators
- Erdélyi, R., Wang, Y., Guo, W., Hanna, E., & Colantuono, G. (2014). Three-dimensional Solar Radiation Model (SORAM) and its application to 3-D urban planning. *Solar Energy*, 101, 63–73. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2013.12.023>
- Fédération nationale des agences d'urbanisme, F. (2006). *Habitat et formes urbaines*. <https://www.fnau.org/fr/publication/habitat-et-formes-urbaines-octobre-2006/>
- Fleck, R., Gill, R. L., Saadeh, S., Pettit, T., Wooster, E., Torpy, F., & Irga, P. (2022). Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia. *Building and Environment*, 209, 108673. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108673>

- Fonseca, J. A., Nguyen, T. A., Schlueter, A., & Marechal, F. (2016). City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts. *Energy and Buildings*, 113, 202–226. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.11.055>
- Gautam, B. R., Li, F., & Ru, G. (2015). Assessment of urban roof top solar photovoltaic potential to solve power shortage problem in Nepal. *Energy and Buildings*, 86, 735–744. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.10.038>
- Gauthier, N. (2014). *Analyse morphologique de formes urbaines et etude de l'impact des formes urbaines sur les gains energetiques solaires*.
- Gong, F. Y., Zeng, Z. C., Ng, E., & Norford, L. K. (2019). Spatiotemporal patterns of street-level solar radiation estimated using Google Street View in a high-density urban environment. *Building and Environment*, 148, 547–566. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.10.025>
- Google. (2020). *Google Maps satellite image of Batna*. Google Maps Satellite Image of Batna. <https://www.google.com/maps/place/Batna/@35.5771397,6.1060902,22418m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x12f41195bf2f909f:0x6e22f706efc7d3c0!8m2!3d35.5634192!4d6.1889996>
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K.-H. (2012). OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. In *OGC Document No. 12-019*. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842
- Groppi, D., de Santoli, L., Cumo, F., & Astiaso Garcia, D. (2018). A GIS-based model to assess buildings energy consumption and usable solar energy potential in urban areas. *Sustainable Cities and Society*, 40, 546–558. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.05.005>
- Gros, A., Bozonnet, E., Inard, C., & Musy, M. (2016). Simulation tools to assess microclimate and building energy – A case study on the design of a new district. *Energy and Buildings*, 114, 112–122. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.06.032>
- Hao, D. C., Gu, X.-J., & Xiao, P. G. (2015). Taxus medicinal resources. *Medicinal Plants*, 97–136. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100085-4.00003-7>
- Hassaine, L., & Mraoui, A. (2017). Potential of Solar Electricity for Grid-Connected Systems in Algeria. *Mediterranean Green Buildings and Renewable Energy: Selected Papers from the World Renewable Energy Network's Med Green Forum, March 2019*, 1–963.

- <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30746-6>
- HenriKämpf, J., Montavon, M., Bunyesc, J., Bolliger, R., & Robinson, D. (2010). Optimisation of buildings' solar irradiation availability. *Solar Energy*, 84(4), 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.07.013>
- Horváth, M., Kassai-Szoó, D., & Csoknyai, T. (2016). Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology. *Energy and Buildings*, 111, 278–289. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.11.031>
- Jakica, N. (2017). State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.080>
- James, D., Wiesmann, D., Steemers, K., & Jos, J. (2015). Solar energy and urban morphology : Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, 73, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.028>
- Javanroodi, K., & Nik, V. M. (2019). Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas. *Buildings*, 9(8), 189. <https://doi.org/10.3390/buildings9080189>
- Jayaweera, N., Rajapaksha, U., & Manthilake, I. (2021). A parametric approach to optimize solar access for energy efficiency in high-rise residential buildings in dense urban tropics. *Solar Energy*, 220, 187–203. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2021.02.054>
- Juliette; Raynal. (n.d.). *Covid-19 : des effets sans précédent et durables sur la consommation mondiale d'énergie*. La Tribune. Retrieved June 14, 2022, from <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/covid-19-des-effets-sans-precedent-et-durables-sur-la-consommation-mondiale-d-energie-859689.html>
- Ka, H., & Robinson, D. (2010). Optimisation of building form for solar energy utilisation using constrained evolutionary algorithms. *Energy & Buildings*, 42(6), 807–814. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.11.019>
- Kabošová, L., Chronis, A., Galanos, T., Kmet', S., & Katunský, D. (2022). Shape optimization during design for improving outdoor wind comfort and solar radiation in cities. *Building and Environment*, 226, 109668. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109668>
- Kanters, J., Horvat, M., & Dubois, M. C. (2014a). Tools and methods used by architects for

- solar design. *Energy and Buildings*, 68(PART C), 721–731. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.031>
- Kanters, J., Horvat, M., & Dubois, M. C. (2014b). Tools and methods used by architects for solar design. *Energy and Buildings*, 68(PART C), 721–731. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2012.05.031>
- Karteris, M., Slini, T., & Papadopoulos, A. M. (2013). Urban solar energy potential in Greece: A statistical calculation model of suitable built roof areas for photovoltaics. *Energy and Buildings*, 62, 459–468. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.03.033>
- Kaynak, S., Kaynak, B., & Özmen, A. (2018). A software tool development study for solar energy potential analysis. *Energy & Buildings*, 162, 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.033>
- Ketfi, O., Merzouk, M., Merzouk, N. K., & Bourouis, M. (2017). Feasibility study and performance evaluation of low capacity water–LiBr absorption cooling systems functioning in different Algerian climate zones. *International Journal of Refrigeration*, 82(26), 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.07.002>
- Kharchi, R., Imessad, K., Sami, S., Hakem, S., Bouchaib, S., & Chenak, A. (2019). Solar energy for heating a building used for offices. *AIP Conference Proceedings*, 2190(1). <https://doi.org/10.1063/1.5138491>
- Košir, M., Pajek, L., Iglič, N., & Kunič, R. (2018). A theoretical study on a coupled effect of building envelope solar properties and thermal transmittance on the thermal response of an office cell. *Solar Energy*, 174, 669–682. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2018.09.042>
- Kuznik, F., Frayssinet, L., Roux, J. J., & Merlier, L. (2022). Calculation of heating and cooling energy loads at the district scale: Development of MoDEM, a modular and technologically explicit platform. *Sustainable Cities and Society*, 83, 103901. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.103901>
- Lan, H., Gou, Z., & Hou, C. (2022). Understanding the relationship between urban morphology and solar potential in mixed-use neighborhoods using machine learning algorithms. *Sustainable Cities and Society*, 104225. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.104225>
- Lau, K. K., Lindberg, F., Johansson, E., Isabel, M., & Thorsson, S. (2017). Investigating solar energy potential in tropical urban environment: A case study of Dar es Salaam ,

- Tanzania. *Sustainable Cities and Society*, 30, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.010>
- Lee, K. S., Lee, J. W., & Lee, J. S. (2016). Feasibility study on the relation between housing density and solar accessibility and potential uses. *Renewable Energy*, 85, 749–758. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.06.070>
- Leydesdorff, L., & Milojević, S. (2015). Scientometrics. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition*, 322–327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.85030-8>
- Le ministère de, L. (1993). *Recommandations architecturales* (Enag).
- Li, C., Song, Y., & Kaza, N. (2018). Urban form and household electricity consumption: A multilevel study. *Energy and Buildings*, 158, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.007>
- Li, D., Liu, G., & Liao, S. (2015). Solar potential in urban residential buildings. *Solar Energy*, 111, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.045>
- Li, J., Wang, Y., & Xia, Y. (2022). A novel geometric parameter to evaluate the effects of block form on solar radiation towards sustainable urban design. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104001. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.104001>
- Li, Y., & Liu, C. (2017). Estimating solar energy potentials on pitched roofs. *Energy and Buildings*, 139, 101–107. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.070>
- Liège university library. (2022). *Indicateurs bibliométriques*. <https://lib.uliege.be/fr/publication/indicateurs-bibliometriques>
- Liu, Z., Zhou, X., Tian, W., Liu, X., & Yan, D. (2022). Impacts of uncertainty in building envelope thermal transmittance on heating/cooling demand in the urban context. *Energy and Buildings*, 273, 112363. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.112363>
- Lobaccaro, G., Carlucci, S., Croce, S., Paparella, R., & Finocchiaro, L. (2017). Boosting solar accessibility and potential of urban districts in the Nordic climate: A case study in Trondheim. *Solar Energy*, 149, 347–369. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.015>
- Lobaccaro, G., Lindkvist, C., & Wall, M. (2018). *Lessons Learnt from Case Studies of Solar Energy in Urban Planning*. <https://doi.org/10.18777/ieashc-task51-2018-0003>
- Lobaccaro, G., Lisowska, M. M., Saretta, E., Bonomo, P., & Frontini, F. (2019). *A Methodological Analysis Approach to Assess Solar Energy Potential at the Neighborhood Scale*. <https://doi.org/10.3390/en12183554>
- Mahaya, C. (2014).

- Optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du potentiel solaire* [Mohamed Khider Biskra]. <http://thesis.univ-biskra.dz/67/>
- Mahaya, C., Zemmouri, N., Benharra, H., & Elnokaly, A. (2022). Solar Access Assessment in Semi-Arid Urban Context: An Application Study for Ten Urban Forms of Existing Apartment Buildings Districts in Batna City, Algeria. *Sustainable Cities and Society*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103909>
- Mainzer, K., Killinger, S., McKenna, R., & Fichtner, W. (2017). Assessment of rooftop photovoltaic potentials at the urban level using publicly available geodata and image recognition techniques. *Solar Energy*, 155, 561–573. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.06.065>
- Mardaljevic, J., & Rylatt, M. (2003). Irradiation mapping of complex urban environments: an image-based approach. *Energy and Buildings*, 35(1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00077-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00077-4)
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., & Delgado López-Cózar, E. (2018). A novel method for depicting academic disciplines through Google Scholar Citations: The case of Bibliometrics. *Scientometrics*, 114(3), 1251–1273. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2587-4>
- Martins, E. M., Fortes, J. D. N., Ribeiro, G. P., & Pereira, M. F. M. (2014). Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 19. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010001237>
- Martins, T. A. de L., Adolphe, L., Bastos, L. E. G., & Martins, M. A. de L. (2016). Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context. *Solar Energy*, 137, 11–24. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2016.07.053>
- Massimo, A., Dell'Isola, M., Frattolillo, A., & Ficco, G. (2014). Development of a Geographical Information System (GIS) for the Integration of Solar Energy in the Energy Planning of a Wide Area. *Sustainability*, 6(9), 5730–5744. <https://doi.org/10.3390/su6095730>
- Mathews, E. H., & Richards, P. G. (1989). A tool for predicting hourly air temperatures and sensible energy loads in buildings at sketch design stage. *Energy and Buildings*, 14(1), 61–80. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(89\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0378-7788(89)90029-7)

- Miao, C., Yu, S., Hu, Y., Zhang, H., He, X., & Chen, W. (2020). Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. *Building and Environment*, *168*, 106497. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106497>
- Mirkovic, M., & Alawadi, K. (2017). The effect of urban density on energy consumption and solar gains: the study of Abu Dhabi's neighborhood. *Energy Procedia*, *143*, 277–282. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.12.684>
- Mohajeri, N., Gudmundsson, A., Kunckler, T., Upadhyay, G., Assouline, D., Kämpf, J. H., & Scartezzini, J. L. (2019). A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland. *Applied Energy*, *240*, 173–190. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.02.014>
- Mohajeri, Nahid, Upadhyay, G., Gudmundsson, A., Assouline, D., Kämpf, J., & Scartezzini, J. L. (2016). Effects of urban compactness on solar energy potential. *Renewable Energy*, *93*, 469–482. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.02.053>
- Mohammed, A. M., Elnokaly, A., & Aly, A. M. M. (2021). Empirical investigation to explore potential gains from the amalgamation of phase changing materials (PCMs) and wood shavings. *Energy and Built Environment*, *2*(3), 315–326. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.07.001>
- Montavon, M. (2010). *Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Energy* [Ecole Polytechnique Federal De Lausanne]. [https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Energy&author=M. Montavon&publication_year=2010](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Optimisation%20of%20Urban%20Form%20by%20the%20Evaluation%20of%20the%20Solar%20Energy&author=M.%20Montavon&publication_year=2010)
- Morganti, M., Salvati, A., Coch, H., & Cecere, C. (2017). Urban morphology indicators for solar energy analysis. *Energy Procedia*, *134*, 807–814. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.09.533>
- Natanian, J., Aleksandrowicz, O., & Auer, T. (2019). A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts. *Applied Energy*, *254*, 113637. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113637>
- Natanian, J., & Wortmann, T. (2021). Simplified evaluation metrics for generative energy-driven urban design: A morphological study of residential blocks in Tel Aviv. *Energy and Buildings*, *240*, 110916. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110916>
- Nault, E., Peronato, G., Rey, E., & Andersen, M. (2015). Review and critical analysis of

- early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs. *Building and Environment*, 92, 679–691. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.012>
- Nicolas Barts, Odile Bédu, Nathalie Darbon, Dominique Fournier, & Chantal Salson. (2014, December 16). Analyse des publications par la bibliométrie. Rencontres. *IST 2014 : L'IST En Marche*.
- OpenStreetMap. (2021). *OpenStreetMap*. <https://www.openstreetmap.org/>
- Osareh, F. (1996). Bibliometrics, citation analysis and co-citation analysis: A review of literature I. *Libri*, 46(3), 149–158. <https://doi.org/10.1515/libr.1996.46.3.149>
- Ouria, M., & Sevinc, H. (2018). Evaluation of the potential of solar energy utilization in Famagusta , Cyprus. *Sustainable Cities and Society*, 37(November 2017), 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.036>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A., Peel, M. C., Finlayson, B. L., & Updated, T. A. M. (2007). *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification To cite this version : HAL Id : hal-00305098 Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*.
- Peronato, G., Rey, E., & Andersen, M. (2018). 3D model discretization in assessing urban solar potential: the effect of grid spacing on predicted solar irradiation. *Solar Energy*, 176, 334–349. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.10.011>
- Poon, K. H. (2020). Parametric study of URBAN morphology on building solar energy potential in Singapore context. *Urban Climate*, 33(April 2019), 100624. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100624>
- Qiu, Z., Wang, J., Yu, B., Liao, L., & Li, J. (2021). Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques. *Building and Environment*, 196, 107566. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107566>
- Raeesi Vanani, I., & Majidian, S. (2020). Literature Review on Big Data Analytics Methods. In *Social Media and Machine Learning*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86843>
- Redweik, P., Catita, C., & Brito, M. (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 97, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.036>
- Remund, J., Müller, S., Schmutz, M., Barsotti, D., Studer, C., & Cattin, R. (2020). *Software*

- Global Meteorological Database Version 7 Software and Data for Engineers , Planers and Education* (Handbook p, Issue March). Meteotest. https://meteonorm.com/assets/downloads/mn73_software.pdf
- Robinson, D. (2006). Urban morphology and indicators of radiation availability. *Solar Energy*, 80(12), 1643–1648. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.01.007>
- Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., & Schofield, J. (2014). Cities and Energy: Urban Morphology and Residential Heat-Energy Demand. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 138–162. <https://doi.org/10.1068/b39065>
- Romero Rodríguez, L., Duminil, E., Sánchez Ramos, J., & Eicker, U. (2017). Assessment of the photovoltaic potential at urban level based on 3D city models: A case study and new methodological approach. *Solar Energy*, 146, 264–275. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.02.043>
- Roudsari, M. S., Pak, M., Adrian, S., & Gordon, G. (2013). LADYBUG : A PARAMETRIC ENVIRONMENTAL PLUGIN FOR GRASSHOPPER TO HELP DESIGNERS CREATE AN ENVIRONMENTALLY-CONSCIOUS DESIGN Mostapha Sadeghipour Roudsari , Michelle Pak. *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference Held in Lyon, France Aug 25–30th*. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2499.pdf
- Sanaieian, H., Tenpierik, M., Linden, K. Van Den, Mehdizadeh Seraj, F., & Mofidi Shemrani, S. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551–560. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007>
- Sarralde, J. J., Quinn, D. J., Wiesmann, D., & Steemers, K. (2015). Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, 73, 10–17. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2014.06.028>
- Seong, Y., Kim, Y., Seok, H., Choi, J., & Yeo, M. (2011). Automatic computation for optimum height planning of apartment buildings to improve solar access. *Solar Energy*, 85(1), 154–173. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.10.007>
- Siguenza-Guzman, L., Saquicela, V., Avila-Ordóñez, E., Vandewalle, J., & Cattrysse, D. (2015). Literature Review of Data Mining Applications in Academic Libraries. *Journal of Academic Librarianship*, 41(4), 499–510. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2015.06.007>
- Singh, R., & Banerjee, R. (2015). Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city.

- Solar Energy*, 115, 589–602. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2015.03.016>
- Soave, A. (2022). *UN HABITAT 2021_annual_report*.
- Sun, K., Wook, J., & Seung, J. (2016). Feasibility study on the relation between housing density and solar accessibility and potential uses. *Renewable Energy*, 85, 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.070>
- Surahman, U., Hartono, D., Setyowati, E., & Jurizat, A. (2022). Investigation on household energy consumption of urban residential buildings in major cities of Indonesia during COVID-19 pandemic. *Energy and Buildings*, 261, 111956. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111956>
- Swanson, S. R., & Boehm, R. F. (1977). Calculation of long term solar collector heating system performance. *Solar Energy*, 19(2), 129–138. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(77\)90050-0](https://doi.org/10.1016/0038-092X(77)90050-0)
- Takebayashi, H., Ishii, E., Moriyama, M., Sakaki, A., Nakajima, S., & Ueda, H. (2015). Study to examine the potential for solar energy utilization based on the relationship between urban morphology and solar radiation gain on building rooftops and wall surfaces. *Solar Energy*, 119, 362–369. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2015.05.039>
- Tang, L., Li, J., Du, H., Li, L., Wu, J., & Wang, S. (2022). Big Data in Forecasting Research: A Literature Review. *Big Data Research*, 27, 100289. <https://doi.org/10.1016/J.BDR.2021.100289>
- Tathiane Agra de Lemos Martins. (2014). *Des contraintes solaires à des opportunités de projet urbain : optimisation de typomorphologies urbaines en climat tropical au Brésil*. Université de Toulouse.
- The municipality of Batna. (2015). *Plan d'action en faveur de l'énergie durable (PAED)*. <https://ces-med.eu/publications/algeria-municipality-batna-sustainable-energy-action-plan-seap-french>
- The world bank. (n.d.). *Developing Countries Need to Harness Urbanization to Achieve the MDGs: IMF-World Bank report*. Retrieved June 5, 2021, from <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2013/04/17/developing-countries-need-to-harness-urbanization-to-achieve-mdgs-imf-world-bank-report>
- Thibaut, V. (2014). *Optimisation de formes urbaines soumises au rayonnement solaire*. Université de Technologie de Compiègne.
- Tian, J., & Xu, S. (2021). A morphology-based evaluation on block-scale solar potential for

- residential area in central China. *Solar Energy*, 221(May), 332–347. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.049>
- Todeschi, V., Javanroodi, K., Castello, R., Mohajeri, N., Mutani, G., & Scartezzini, J.-L. (2022). Impact of the COVID-19 pandemic on the energy performance of residential neighborhoods and their occupancy behavior. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103896>
- United Nations, Department of economic and social affairs, P. division. (2019). World Population Prospects. In *World Population Prospects 2019: Highlights* (Vol. 00, Issue June 2017). https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- United Nations. (2018). World Urbanization Prospects. In *World Urbanization Prospects: the 2018 Revision: key facts*. (Vol. 12). <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>
- USC Libraries. (2017). *Research Guides: Bibliometrics and Altmetrics: Measuring the Impact of Knowledge*. Usc.Edu. <https://lib.guides.umd.edu/bibliometrics/bibliometrics>
- Vartholomaios, A. (2015). The residential solar block envelope: A method for enabling the development of compact urban blocks with high passive solar potential. *Energy and Buildings*, 99, 303–312. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.04.046>
- Veisi, O., Shakibamanesh, A., & Rahbar, M. (2022). Using intelligent multi-objective optimization and artificial neural networking to achieve maximum solar radiation with minimum volume in the archetype urban block. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104101. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.104101>
- Voivontas, D., Tsiligiridis, G., & Assimacopoulos, D. (1998). Solar potential for water heating explored by GIS. *Solar Energy*, 62(6), 419–427. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00027-9)
- Vulkan, A., Kloog, I., Dorman, M., & Erell, E. (2018). Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas. *Energy and Buildings*, 169, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.052>
- Wang, D., Landolt, J., Mavromatidis, G., Orehounig, K., & Carmeliet, J. (2018). CESAR: A bottom-up building stock modelling tool for Switzerland to address sustainable energy transformation strategies. *Energy and Buildings*, 169, 9–26. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.03.020>
- Wen, J., Yang, S., Xie, Y., Yu, J., & Lin, B. (2022). A fast calculation tool for assessing the

- shading effect of surrounding buildings on window transmitted solar radiation energy. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103834. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.103834>
- Wiginton, L. K., Nguyen, H. T., & Pearce, J. M. (2010). Computers , Environment and Urban Systems Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001>
- Wu, H., Deng, F., & Tan, H. (2022). Research on parametric design method of solar photovoltaic utilization potential of nearly zero-energy high-rise residential building based on genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133169. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133169>
- Xiang, C., Matusiak, B. S., Røyset, A., & Kolås, T. (2021). Pixelization approach for façade integrated coloured photovoltaics-with architectural proposals in city context of Trondheim, Norway. *Solar Energy*, 224, 1222–1246. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2021.06.079>
- Xu, S., Huang, Z., Wang, J., Mendis, T., & Huang, J. (2019). Evaluation of photovoltaic potential by urban block typology : A case study of. *Reinforced Plastics*, 29(June), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.03.002>
- Xu, S., Jiang, H., Xiong, F., Zhang, C., Xie, M., & Li, Z. (2021). Evaluation for block-scale solar energy potential of industrial block and optimization of application strategies: A case study of Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*, 72(May). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103000>
- Yaiche, M. R., & Bouhanik, A. (2002). *Atlas solair Algérien*.
- Yun, G. Y., & Steemers, K. (2009). Implications of urban settings for the design of photovoltaic and conventional façades. *Solar Energy*, 83(1). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.06.007>
- Zhang, J., Xu, L., Shabunko, V., Tay, S. E. R., Sun, H., Lau, S. S. Y., & Reindl, T. (2019). Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Applied Energy*, 240, 513–533. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.02.033>
- Zuo, J., Ma, J., Lin, T., Dong, J., Lin, M., & Luo, J. (2022). Quantitative valuation of green roofs' cooling effects under different urban spatial forms in high-density urban areas. *Building and Environment*, 222, 109367.

<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109367>