

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département :
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم:
المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magister en : architecture

Option : ville et architecture au Sahara

**L'impact de la configuration urbaine sur l'exploitation
du gisement solaire. Cas de la ville de Biskra**

Présenté par :
Boutheina Djeddou

Soutenu publiquement Juin 2016

Devant le jury composé de :

Pr. Belakehal Azeddine
Pr. Zemmouri Noureddine
Pr. Brima Abdelhafid
Dr. Sriti Leila

Professeur
Professeur
Professeur
Maitre de Conférences 'A'

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Biskra

" I have no special talents.

I'm only passionately curious"

-Albert Einstein-

SOMMAIRE

SOMMAIRE	I
RESUME	IX
LISTE DE FIGURES	XII
LISTE DE TABLEAUX	XV
LISTE DE GRAPHE.....	XVI
LISTE DE SCHEMA.....	XVII

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION.....	1
1. LA PROBLEMATIQUE.....	2
2. LES OBJECTIFS :	4
3. CAS D'ETUDE :	5
4. METHODOLOGIE DE RECHERCHE :	5
4.1.L'étude comparative :.....	7
4.2.Analyse typologique.....	7
4.2.1.Classification analogique des prototypes	7
4.2.1.1.La classification numérique des prototypes: le schéma SpaceMate.....	8
4.2.1.2.Évaluation numérique.....	9

CHAPITRE I : LE GISEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION.....	10
1. APERÇU HISTORIQUE SUR L'ENSOLEILLEMENT A L'ECHELLE URBAINE	11
1.1. L'époque antique: la ville vernaculaire	11
1.2. L'époque moderne: la révolution industrielle.....	12
1.3. L'époque contemporaine: la ville durable	14
2. LE MOUVEMENT TERRE-SOLEIL	15
2.1. Les coordonnées équatoriales du soleil.....	15
2.1.1.La déclinaison solaire.....	15
2.1.2.L'angle horaire	17
2.1.3.La latitude.....	18
3. LE MOUVEMENT DU SOLEIL	18
3.1.Repérage du soleil	18

3.1.1.L'azimut	19
3.1.2. La hauteur angulaire ou l'altitude	19
3.2.Le diagramme solaire	19
3.3.Les masques solaires	21
3.3.1.Abaque des masques solaires	21
4. LE GISEMENT SOLAIRE	22
4.1.Les modèles du ciel	23
4.1.1.Les modèles de ciel	23
4.1.1.1.Le ciel uniforme	23
4.1.1.2.Le ciel couvert CIE.....	23
4.1.1.3.Le ciel clair (sans soleil).....	23
4.1.1.4.Le ciel clair (avec soleil)	24
4.1.2.Les modèles standards CIE	24
4.1.2.1Le modèle de ciel de Kittler	24
4.1.2.2.Le modèle de ciel de Spencer.....	25
4.1.3.Le modèle de ciel de Perez.....	25
4.2.Le potentiel solaire en Algérie	25
4.3.Le gisement solaire dans les régions arides.....	27
5.LE RAYONNEMENT SOLAIRE	27
5.1.Le Soleil	27
5.2.Le rayonnement solaire	28
5.2.1. Les composantes du rayonnement solaire	29
5.2.1.1.Rayonnement directe	29
5.2.1.2.Rayonnement diffusé.....	29
5.2.1.3.Rayonnement globale	29
5.2.1.4.Rayonnement réfléchis	29
5.3.L'albédo	30
6.LE SOLEIL SOURCE D'ENERGIE RENOUVELABLE	31
6.1.Le soleil source de lumière naturel.....	32
6.2.Aperçu historique sur le développement de l'énergie solaire à travers le temps.....	32
6.3.Les filières de l'énergie solaire	34
6.3.1.Le solaire passif.....	34
6.3.2.Le solaire actif	35
6.3.2.1.Le solaire thermique	35
6.3.2.2.Le solaire photovoltaïque(PV)	35

6.4. L'intégration au bâtiment	35
6.5. Définition des seuils pour chaque technique	36
6.6. Performance énergétique	37
CONCLUSION	38

CHAPITRE II : LA DENSITE URBAINE

INTRODUCTION	39
1. LA MORPHOLOGIE URBAINE	40
2. LA FORME URBAINE	40
3. LA NOTION DE CONFIGURATION URBAINE	42
3.1. Types de configurations urbaines génériques	43
3.1.1. Les configurations compactes	43
3.1.2. Les configurations pavillonnaires	43
3.1.3. Les configurations verticales et répétitives	44
3.2. Développement des configurations urbaines en Algérie	44
3.2.1. L'époque précoloniale, une ville compacte et un habitat traditionnel	45
3.2.2. L'époque coloniale, une ville dédoublée et ségrégative	45
3.2.3. L'époque post coloniale, une ville rapide et anarchique	46
4. LA DENSITE URBAINE	47
4.1. Aperçu historique	47
4.2. La notion de densité	50
4.3. Mesure de la densité	51
4.3.1. Densité perçue	52
4.3.2. Densité physique	53
4.4. Les indicateurs de la densité	54
4.4.1. Le coefficient d'occupation du sol	55
4.4.2. Le coefficient d'emprise au sol	56
4.4.3. Densité bâtie	57
4.4.4. La densité nette	57
4.4.5. La densité brute	58
4.4.6. La densité de population	58
4.5. La compacité	59
4.5.1. Le coefficient de la forme C_f	60
4.6. Densité/ Intensité	61
4.7. Densité / Formes	63

CONCLUSION	65
------------------	----

CHAPITRE III : LA DENSITE MULTIVARIABLE

INTRODUCTION.....	66
1. LE PARADIGME DE LA VILLE COMPACTE	67
2. LA DENSITE MULTI-VARIABLE.....	73
3. LE SPACEMATE: La logique spatiale de la densité urbaine.....	76
3.1.Quatre variables pour calculer la densité.....	77
3.1.1. Superficie de base (A)	77
3.1.2.Longueur du réseau (L)	78
3.1.3.Surface brute de plancher (F)	79
3.1.4. Zone bâtie, ou l'empreinte (B).....	79
3.2. Les unités spatiales.....	80
3.2.1. Bâtiment(Building).....	80
3.2.2. Le lot	80
3.2.3. L' Ilot (Island).....	81
3.2.4. Tissu(Fabric)	81
3.2.5. Quartier (district).....	82
3.3. Les indicateurs du SpaceMate.....	82
3.3.1. Floor Space Index (FSI)	82
3.3.2. Ground Space Index (GSI)	83
3.3.3.La densité du réseau (network densite) (N).....	83
3.4. Les indicateurs dérivés	85
3.4.1.Layer (L)	85
3.4.2. Open Space Ratio (OSR).....	86
3.4.3 L'espace Tare	87
3.4.3.1. Largeur de maille et de profil	88
3.5.La représentation de la densité	91
3.5.1.Le schéma SpaceMatrix	91
3.5.2. Le schéma (diagramme) SpaceMate	92
3.6. Échelle et Variation.....	92
4.UNE NOUVELLE APPROCHE DE DENSITE URBAINE	95
5.LES APPLICATIONS DU SPACEMATE.....	96
5.1. Clustering morphologique.....	97
5.2. Renouvellement urbain.....	99

5.3. L'intégration SpaceMate avec le travail de Martin et March par Philip Steadman	99
5.4. L'évaluation des performances par le graphe SpaceMate	102
CONCLUSION	105

CHAPITRE IV : EFFET DE LA DENSITE URBAINE SUR L'ACCES SOLAIRE

INTRODUCTION	106
1.LE TISSU URBAIN ET L'ACCES DU SOLEIL	107
2.L'EFFET DE LA MORPHOLOGIE URBAINE	108
3.L'EFFET DES FORMES URBAINES	111
4.L'EFFET DE LA DENSITE URBAINE	114
4.1.Effet de la densité urbaine sur le rayonnement solaire	116
4.2.L'impact de la densité urbaine sur le bilan énergétique	117
5.L'EFFET DE LA GEOMETRIE URBAINE	120
5.1.L'effet des proportions des rues	121
5.2.La hauteur des constructions	123
6.L'EFFET DE L'ORIENTATION	127
7.L'EFFET DE L'OMBRE	128
8.LE FACTEUR DE VUE DE CIEL	130
CONCLUSION	134

CHAPITRE V : METHODES D'EVALUATION D'IRRADIATION SOLAIRE

INTRODUCTION	135
1.METHODE D'EVALUATION DE RAYONNEMENT SOLAIRE	136
1.1.Les types de méthodes d'évaluation	136
1.1.1. La méthode d'évaluation à base d'image	136
1.1.2.La méthode de JEROME FAESSLER	140
1.1.3.La méthode de RAPHAEL COMPAGNON	142
1.2.1.1.L'application de la méthode de RAPHAEL COMPAGNON	146
1.2. Les types des méthodes de simulations	148
1.2.1.Les méthodes graphiques	148
1.2.2.Les méthodes analogiques	148
1.2.3.Les méthodes numériques	148
1.2.3.1Les méthodes simplifiées	149
1.2.3.2. Les méthodes complexes	149
1.2.3.2.La technique de lancer de rayons (Ray tracing technique)	150

1.2.3.2.La technique de traitement d'image	151
2. L'OUTIL DE LA SIMULATION.....	152
2.1.Développement des logiciels de simulations.....	152
2.2.Choix de l'outil de simulation	157
2.2.1. Présentation du logiciel de simulation "SOLENE"	158
2.2.2.Modélisation de la géométrie	158
2.2.3.Simulation d'irradiation solaires	159
3. LE PROTOCOLE DE LA SIMULATION	160
3.1.L'enchaînement des étapes de la modélisation	160
3.1.1.Le calcul de l'énergie solaire globale.....	161
3.1.2.Calcul des seuils	164
3.2.1.1.Seuil pour les techniques solaires passives	164
3.2.1.2.Seuil pour les techniques solaires actives.....	164
3.1.3.Les surfaces adéquates aux applications solaires	165
CONCLUSION.....	166

CHAPITRE VI : CAS D'ETUDE

INTRODUCTION.....	167
1. PRESENTATION MONOGRAPHIQUE DU CAS D'ETUDE	168
1.1. Géographie	168
1.2. Contexte générale de l'étude	169
1.3. Le type de ciel dominant	169
1.4. Ensoleillement	170
1.5. Insolation	171
2. CRITERES DU CHOIX DE LA VILLE DE BISKRA COMME CAS D'ETUDE	172
3. L'URBANISATION A BISKRA.....	172
3.1. L'époque précoloniale	173
3.2. L'époque coloniale	174
3.3. L'époque post coloniale.....	176
4. LES TYPOLOGIES URBAINES DE LA VILLE DE BISKRA	178
4.1. La classification des typologies du tissu urbain de la ville de Biskra.....	178
5. LE CHOIX DE PROTOTYPES POUR L'ETUDE	182
5.1. Critère de choix de prototypes.....	182
5.2. La sélection de prototypes	183
5.3. Les caractéristiques des configurations urbaines de prototypes choisis	184

5.3.1. Typo-morphologie.....	184
5.3.1.1.Quartier du M’Cid.....	185
5.3.1.2.Quartier de Star Melouk.....	186
5.3.1.3.Quartier du Damier colonial.....	188
5.3.1.4.Quartier de Hay El Moudjahidine.....	189
5.3.1.5.Quartier des 500 logements.....	190
5.3.1.6.Quartier El Badr (HLM).....	192
CONCLUSION.....	194

CHAPITRE VII : ANALYSE ET MODELISATION MORPHOLOGIQUE

INTRODUCTION.....	195
1.CLASSIFICATIONS DES DENSITES.....	196
1.1.Détermination du niveau de densité.....	196
1.1.1. Calcul des paramètres de densité.....	196
1.2.Les typologies des bâtiments et la densité.....	204
1.3.Le CES en fonction du COS.....	204
1.4.Le nombre d’étage en fonction du COS.....	205
1.5.Classifications des tissus urbains dans le diagramme de SpaceMate.....	207
2. LA CONSTRUCTION DU MODEL 3D SIMPLIFIE.....	211
2.1.Les caractéristiques des variantes de la simulation.....	212
2.1.1. La configuration très dense :.....	212
2.1.2. La configuration très dense :.....	213
2.1.3. La configuration lâche :.....	214
3. LA CLASSIFICATION DES MODELES 3D IDEALISES SUR LE DIAGRAMME DES DENSITES.....	216
CONCLUSION.....	217

CHAPITRE VIII : EVALUATION DU GISEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION.....	218
1. LA SIMULATION NUMERIQUE.....	219
1.1.Les données climatiques nécessaires pour la simulation.....	219
1.1.1.Définition du Design Day.....	219
1.1.1.1.La sélection du Design Day de Biskra.....	220
1.1.2.Le type de ciel dominant.....	221

1.2.Le déroulement de la simulation	222
2. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	224
2.1.Présentation des résultats : l'énergie globale incidente.....	224
2.2.Discussions des résultats	226
2.3.La viabilité de l'enveloppe des configurations.....	229
2.3.1.Présentations des résultats	230
2.3.1.1. La viabilité des toitures	232
2.3.1.2. La viabilité des parois verticales	233
2.3.2.La discussion des résultats	235
2.3.2.1. Les toitures	235
2.3.2.2. Les façades	236
2.3.2.2.1.Les collecteurs solaires thermiques.....	239
2.3.2.2.2. Les applications solaires photovoltaïques	241
2.3.2.2.3. Les systèmes solaires passifs.....	242
CONCLUSION.....	245

CONCLUSION GENERALE

INTRODUCTION.....	245
1. LES LIMITES DE RECHERCHE.....	245
2. CONCLUSION GENERALE.....	246
3. LES PISTES DE RECHERCHE A DEVELOPPER	249
3.1.L'élargissement du champ de l'étude et la prise en compte d'autres caractéristiques et de paramètres en considération	249
3.2.L'optimisation de l'exploitation du gisement solaire vis-à-vis du confort thermique dans le climat Saharien.....	249
3.3.Le paysage urbain face aux systèmes solaires actifs	250
3.4.Les outils d'aide à la décision.....	250
3.5.La réduction des temps de calcul.....	250
3.6.Elargir l'utilisation de la méthode SpaceMate	250
CONCLUSION.....	251
BIBLIOGRAPHIE.....	252
ANNEXES.....	261

RESUME

L'énergie solaire présente un potentiel énorme sur la surface terrestre, constitue la principale ressource de lumière et d'énergie, celle-ci paraît la plus rentable, la moins polluante et la moins coûteuse grâce aux technologies de son exploitation ; due à sa disponibilité partout sur la surface de la terre. Dans un contexte saharien, le potentiel d'énergie solaire est quasiment permanent. Un intérêt immense doit être porté à cette source afin de mieux l'intégrer aux bâtiments et profiter de ces avantages. La ville de Biskra fait partie du contexte saharien et plus précisément des zones arides et chaudes, vue sa situation géographique elle présente un énorme gisement solaire, qui peut être exploité pour réduire le recours à la consommation des énergies non renouvelables et ainsi qu'une tentative de minimiser les émissions des gaz à effet de serre. Beaucoup de recherches ont été établies sur le type de tissu urbain adéquat à un climat spécifique-climat chaud et aride- et ils ont affirmé que le tissu compact et à densité élevée est la plus favorable qu'un tissu aéré et lâche, dans l'intérêt d'assurer un meilleur confort thermique; mais le débat sur la forme et le tissu urbain durable le plus approprié à un tel climat reste toujours ouvert. La configuration urbaine est considérée comme élément générateur du rayonnement solaire ; joue un rôle important sur l'accès solaire. On s'intéresse donc à étudier l'impact de la configuration urbaine sur l'exploitation du gisement solaire pour mieux intégrer et exploiter cette source d'énergie. Ce travail est une tentative qui se penche dans le débat sur les configurations urbaines dans les milieux arides ; à travers lequel on essaye de comparer trois configurations urbaines à densités variées afin d'examiner leurs performances vis-à-vis de l'énergie solaire, qui constitue le point culminant de cette investigation.

Mots clés : gisement solaire ; configuration urbaine, densité multi-variable, région aride simulation numérique.

المخلص

تعتبر الطاقة الشمسية من بين الإمكانيات الهائلة على سطح الأرض ، فهي تمثل المورد الرئيسي للضوء و الطاقة . كما تعتبر الأكثر مردودية من حيث قلة تكلفتها و هذا يرجع إلى توفرها و تطور تقنيات استعمالها ، إضافة إلى انها الطاقة الأقل تلويثا للمحيط. تظهر أهمية هذه الطاقة في المناطق الصحراوية خاصة نظرا لتوفرها بصفة دائمة و غير محدودة، و عليه ينبغي إيلاء اهتمام كبير لهذا المصدر من أجل استغلال أفضل لإيجابياته و دمج أفضل خاصة على المستوى العمراني. تنتمي مدينة بسكرة إلى المناطق الصحراوية و بالتحديد المناطق الجافة و الحرة فهي تمتلك امكانيات هائلة من الطاقة الشمسية بفضل موقعها الجغرافي و التي يمكن استغلالها من أجل خفض اللجوء إلي استعمال الطاقات الغير المتجددة وكذا محاولة الحد من انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري. العديد من الأبحاث التي أجريت حول النسيج العمراني الذي يتلاءم مع المناخ الخاص للمنطقة التي ينتمي إليها و بالتحديد المناطق الحارة و الجافة، حيث أكدت هذه الأخيرة إلى أن النسيج المتناسك و ذو الكثافة العالية هو الأكثر تلاما من النسيج المنفتح و هذا لضمان أكثر رفاهية حرارية ، لكن النقاشات لا تزال مفتوحة حول الشكل الحضري الأكثر استدامة. يعتبر التكوين الحضري عنصر يتحكم في أشعة الشمس و يلعب دور هام في وصولها إلى النسيج العمراني. نهتم في هذه الدراسة لتأثير التكوين الحضري في استغلال امكانيات الطاقة الشمسية من أجل دمجها و استغلالها. هذا العمل هو محاولة ضمن نقاش حول التكوينات الحضرية في المناطق الحارة و الجافة والتي من خلالها نحاول مقارنة ثلاث تكوينات ذات كثافات مختلفة من أجل فحص كفاءاتهم من حيث استغلال الطاقة الشمسية و التي تعتبر نقطة جوهرية في هذا بحث.

الكلمات المفتاحية: إمكانيات الطاقة الشمسية ، التكوين العمراني ، الكثافة المتعدد المتغيرات ، المحاكاة الرقمية ، المنطقة الحارة.

ABSTRACT

Solar energy represents an enormous potential on the terrestrial's surface, which constitute the principal resource of the light and the energy, it seems to be most profitable, cleaner and less expensive thanks to technologies of its operations, due to its availability everywhere on the earth's surface. In a Saharan context, the potential of solar energy is most permanent. A huge interest must be worn this source to better integrate the buildings and enjoy these benefits. The city of Biskra is a part of the Saharan context and specifically arid and hot areas, view that its location has huge solar potential that can be exploited to reduce the need for consumption of non-renewable energy and an attempt to minimize emissions of greenhouse gases. Much research has been prepared on the type of adequate urban fabric has a specific climate and - hot arid climate- and they said the compact fabric and high density is more favorable than airy and loose fabric in the interest ensured to a better thermal comfort; but the debate on the shape and fabric sustainable urban most appropriate on a such climate stays always open .the urban configuration is regarded as generating element of the solar radiation plays an important role on solar access is therefore concerned with the study impact of urban form on the exploitation of solar potential to better integrate and exploit this energy source. This work is an attempt that leans in the debate on urban configurations in arid environments; through which we try to compare three different density urban settings to examine their vis-a-vis performance solar energy, which is the highlight of this investigation.

Key words: Solar potential, urban configuration, multivariate density, digital simulation, arid region.

LISTE DE FIGURES

Figure I.1:	Description simplifiée du système solaire.	15
Figure I.2:	Description simplifiée du système solaire.	16
Figure I.3:	Représentation des équinoxes de printemps et d'automne.	16
Figure I.4:	Représentation du solstice d'été.	17
Figure I.5:	Représentation du solstice d'hiver.	17
Figure I.6:	Représentation des coordonnées horizontales solaire.	18
Figure I.7:	De gauche adroite : représentation de la hauteur angulaire, représentation de l'azimut.	19
Figure I.8:	La construction du diagramme cylindrique solaire.	20
Figure I.9:	Masques dus aux constructions représentées sur deux types de diagrammes (cylindrique et stéréographique).	22
Figure I.10:	Les différents modèles du ciel.	24
Figure I.11:	L'irradiation solaire directe annuelle des pays méditerranéen et la péninsule arabe en 2002.	26
Figure I.12:	Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur un plan horizontale (1992-2002).	27
Figure I.13:	Composantes du rayonnement solaire global	28
Figure I.14:	Les composantes du rayonnement solaire.	30
Figure I.15:	Valeur de l'albédo de différentes surfaces.	31
Figure II.1:	Le Ksar de Timimoun exprime bien la relation palmeraie-Ksar, un système qui permet à la population d'occuper tout le territoire.	45
Figure II.2:	Dédoublage du Ksar de Timimoun par la ville coloniale.	46
Figure II.3:	Le processus d'urbanisation de Timimoun.	47
Figure II.4:	Représentation des différents types des densités	54
Figure II.5:	Représentation de la relation entre les densités	55
Figure II.6:	Représentation de CES et du COS.	55
Figure II.7:	Illustration du COS.	56
Figure II.8:	Différentes formes urbaines pour un même COS.	56
Figure II.10:	CES se diffère si y a des décrochements dans les plans des étages.	57
Figure II.10:	La densité bâtie : schéma représentatif de la densité bâtie.	57
Figure II.11:	Représentation de la densité nette et brute.	58
Figure II.12:	Exemple de déperditions comparées de l'enveloppe de différents logements de 96m ² .	60
Figure II.13:	Représentation de la densité et le nombre d'étage.	64
Figure III.1:	Exemple d'une ville compacte en Algérie : Ghardaïa une vue d'en haut.	67
Figure III.2:	Exemple d'une ville compacte en Algérie : Ghardaïa une vue de face.	67
Figure III.3:	Carte des pleins et des vides, quartier de la place des Tilleuls.	68
Figure III.4:	Extension de la métropole d'Oran jusqu'en 1997.	69
Figure III.5:	Jeu d'enfant, illustration de la relation entre FSI/GSI/OSR et L ; Les 4 solutions sont identiques en termes de FSI, mais différent en termes de GSI, OSR et L.	75
Figure III.6:	Représentation du réseau et la différence entre les réseaux.	78
Figure III.7:	Représentation de surface brute de plancher (F).	79
Figure III.8:	Représentation de la zone bâtie, ou l'empreinte(B).	80
Figure III.9:	Représentation du bâtiment.	80
Figure III.10:	Représentation du bâtiment.	80
Figure III.11:	Représentation du bâtiment.	81

Figure III.12: Représentation du bâtiment.	81
Figure III.13: Représentation du bâtiment.	82
Figure III.14: Illustration de FSI, (FAR) au niveau du plan	83
Figure III.15: De gauche à droite : Illustration de la relation mathématique qui exprime le FSI, (FAR) et qui exprime le GSI,(CES).	83
Figure III.16: Représentation de la densité du réseau.	84
Figure III.17: Illustration Layer (L).	86
Figure III.18: Illustration Open Space Ratio (OSR).	86
Figure III.19: Illustration définis GSI, FSI, and N qui sont les éléments de base de la densité urbaine tridimensionnelle “ SpaceMatrix”.	87
Figure III.20: Représentation du bâtiment.	88
Figure III.21: Représentation de la densité du réseau.	88
Figure III.22: L'espace tare dans les différentes échelles de l'agrégation.	90
Figure III.23: Les milieux urbains du parc de la ville positionné sur le diagramme SpaceMate ; sur le droite les photos des zone étudier.	101
Figure III.24: La modification du positionnement des zones des milieux urbains du parc de la ville sur le diagramme SpaceMate.	102
Figure IV.1: Représentation des quatre villes cas d'études en fonction de la population de chaque ville en fonction du têt de la population.	109
Figure IV.2: Evaluation numérique du rayonnement solaire incident par un SIG des irradiances solaires..	111
Figure IV.3: Les modèles des six types de bâtiments traditionnels.	113
Figure IV.4: Illustration de l'irradiation solaire incidente pour différente typologie urbaine.	114
Figure IV.5: Les modèles génériques pour la simulation.	117
Figure IV.6: La disposition aléatoire horizontale est préférable.	118
Figure IV.7: Une basse emprise au sol est préférable.	118
Figure IV.8: La disposition aléatoire verticale est préférable.	118
Figure IV.9: La nouvelle position pour le cas de São Paulo.	119
Figure IV.10: Les configurations étudiées.	121
Figure IV.11: Différents rapports d'aspect H/W de rues canyon.	122
Figure IV.12: Le rayonnement solaire quotidien moyen dans une rue canyon ; par Ecotect (heures de travail 08-17, plage de contour 500-2500Wh par étapes de 200 Wh).	122
Figure IV.13: Les modèles urbains typiques et les proportions des canyons urbains à Copenhague.	123
Figure IV.14: Représentation du rôle de la hauteur des bâtiments; un même COS de 5,7 des deux cas. Le CES diffère et est de 11% et 44%, respectivement, ce qui influe sur la densité.	124
Figure IV.15: Représentation de la hauteur des bâtiments avec un même COS.	125
Figure IV.16: De gauche à droite: le modèle de bâtiment en forme de carré utilisé pour l'étude numérique ; la seconde configuration d'étude présentant des hauteurs différenciées.	126
Figure IV.17: Les dispositions des configurations proposées pour l'étude :(Uniforme-Uniforme) (Uniforme-Aléatoire) (Aléatoire- Uniforme) (Aléatoire -Aléatoire).	126
Figure IV.18: Localisation du site.	128
Figure IV.19: Profile des reliefs du terrain (a) et du site analysé (b).	129
Figure IV.20: De gauche à droite : le scénario initial, scénario de conception actuelle, scénario de conception optimisée. Bâtiment existant: C; Nouveaux bâtiments: A et B.	129
Figure IV.21: De gauche à droite : le solaire analyse de la carte sur les nouveaux bâtiments dans le scénario de conception actuelle et le scénario de conception optimisée.	129

Figure IV.22:	Représentation d'un bloc tordu. _____	130
Figure IV.23:	Procédure d'évaluation de l'ensoleillement direct d'un site: superposition du diagramme solaire et de la photo fisheye. _____	131
Figure IV.24:	Le facteur de vue du ciel des rues pour les trois configurations étudiées. Formes fermées avec cours intérieures (A), formes compactes (B) et formes pavillonnaires (C). _____	132
Figure V.1:	Irradiations brutes annuelle (a) et pour chacun des 12 mois (b) sur la toiture principale et le voisinage. _____	138
Figure V.2:	Ratio d'ombrage. _____	138
Figure V.3:	Modèle paramétrique. _____	140
Figure V.4:	Modèle urbain solaire. _____	140
Figure V.5:	Irradiation annuelle de la zone test de Meyrin (selon input MNS) en kWh/m ² /an. _____	141
Figure V.6:	Modèles de cieux horaires générés par gendaylit utilisant les données climatiques de METEONORM. _____	143
Figure V.7:	Visualisation des résultats d'une vue aérienne de PATHSIA à Athènes, A : niveau de gris indiquant les niveaux d'irradiation annuels sur une partie de la zone ; B : montrant les zones de toit appropriées pour les modules photovoltaïques. _____	146
Figure V.8:	La technique de lancer de rayons (Ray tracing technique). _____	150
Figure V.9:	La scène urbaine sous un ciel couvert par le logiciel Solene. _____	158
Figure V.10:	Ensoleillées des espaces publics. _____	159
Figure V.11:	Tracé d'ombres du 9 ^{ème} jour du mois de Juin. _____	159
Figure VI.1:	Situation géographique de la ville de Biskra. _____	167
Figure VI.2:	en haut vu aérienne du quartier M'cid , en bas situation du quartier. _____	185
Figure VI.3:	à gauche vu aérienne du quartier star Mlouk, à droite situation du quartier. _____	186
Figure VI.4:	Vu aérienne du quartier du Damier colonial. _____	187
Figure VI.5:	Situation du quartier. _____	188
Figure VI.6:	En haut vu aérienne du quartier du Hay El Moudjahidine. en bas situation du quartier. _____	189
Figure VI.7:	à gauche vu aérienne du quartier des 500 Lgts. à droite situation du quartier. _____	191
Figure VI.8:	à gauche vu aérienne du quartier EL Bard. à droite situation du quartier. _____	192
Figure VII.1:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine très dense ; quartier M'cid. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	197
Figure VII.2:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine très dense ; quartier star M'louk . 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	198
Figure VII.3:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine dense ; quartier du damier coloniale. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	199
Figure VII.4:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine dense ; quartier Hay el Moudjahidine. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	200
Figure VII.5:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine lâche; quartier 500 Logts collectifs ; 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	201
Figure VII.6:	Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine lâche ; quartier HLM ; 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. _____	202
Figure VII.7:	Le modèle représentatif des configurations urbaines très dense : 1 une vue en plan ; 2 une vue de profil. _____	211
Figure VII.8:	Le modèle représentatif des configurations urbaines très dense: 3 : une vue 3D modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8. _____	212
Figure VII.9:	Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense: 1 une vue en plan. _____	212
Figure VII.10:	Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense: 2 une vue de profil _____	213

Figure VII.11: Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense. 3 : une vue 3D modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8.	213
Figure VII.12: Le modèle représentatif des configurations urbaines lâche : 1 une vue de profil.	213
Figure VII.13: Le modèle représentatif des configurations urbaines lâche. 2 : une vue en plan	214
Figure VII.14: Le modèle représentatif des configurations urbaines a modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8; 3: Lâche.	214
Figure VIII.1: Les différentes étapes de l'insertion des données au logiciel de simulation numérique Solene ; A : la construction du ciel ; B : les données du lieu ; C : les caractéristiques des matériaux.	221
Figure VIII.2: Les différentes configurations lors de la simulation par le logiciel Solene ; A : modèle très dense ; B : modèle dense ; C : modèle lâche.	222
Figure VIII.3: Visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration Lache; 1:Photovoltaïque; 2: thermique.	235
Figure VIII.4: Visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration dense ; 1 : Photovoltaïque ; 2 : thermique.	236
Figure VIII.5: Visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration très dense ; 1 : Photovoltaïque ; 2 : thermique.	237
Figure VIII.6: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration lâche.	238
Figure VIII.7: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration dense.	239
Figure VIII.8: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration très dense.	239
Figure VIII.9: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration lâche.	240
Figure VIII.10: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration dense.	241
Figure VIII.11: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration très dense.	241
Figure VIII.12: Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration lâche.	242
Figure VIII.13: Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration dense.	242
Figure VIII.14: Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration très dense.	243

LISTE DE TABLEAUX

Tableau I.1: La répartition du potentiel solaire par région.	26
Tableau IV.1: Les caractéristiques des formes urbaines étudiées.	112
Tableau IV.2: Sommaire des cas étudiés.	117
Tableau V.1: Comparaison de différents logiciel de simulation numérique d'irradiation solaire.	156
Tableau V.2 : Valeurs de seuils des systèmes solaires actifs .	164
Tableau VI.1: Évolution des températures de l'air durant l'année 2011.	168
Tableau VI.2: Le taux de la couverture nuageuse en %.	169
Tableau VI.3: Évolution de l'insolation mensuelle et journalière moyenne et de la radiation moyenne journalière durant la série étudiée par Seltzer (1975-1984).	170

Tableau VI.4: Classification typologique des tissus urbains de la ville de Biskra selon leur densité et l'époque de l'apparition.	181
Tableau VII.1: Détermination des COS et du CES pour les différents échantillons étudiés.	196
Tableau VII.2: Caractéristiques des configurations urbaines idéalisées.	211
Tableau VIII.1: Les valeurs de température du cas de la ville de Biskra. Source : MAY ; 2011.	219
Tableau VIII.2: Taux de la couverture nuageuse dans les différentes heures GMT (%).	221
Tableau VIII.3: Les radiations solaire globale cumulé de l'enveloppe des différentes configurations étudiées, élaboré par le logiciel Solene.	223
Tableau VIII.4: La viabilité des différentes des surfaces des enveloppes des modèles urbains en %.	230

LISTE DE GRAPHE

Graphe II.1: Variation du coefficient de forme.	60
Graphe II.2: L'évolution du facteur de compacité Sp/V en fonction de la taille.	61
Graphe III.1: Illustration du diagramme SpaceMate.	93
Graphe III.2: Composition scalaire du schème représentant le périmètre traditionnel fermé des blocs.	93
Graphe III.3: Composition scalaire du schème représentant le périmètre moderne ouvert des blocs.	94
Graphe III.4: Deux périmètres de blocs traditionnels fermés avec différent variation.	95
Graphe III.5: Clustering des différents types morphologiques du SpaceMate mesurés à l'échelle de l'ilot (sans les rues).	97
Graphe III.6: Tous les échantillons hollandais sur le diagramme SpaceMate (échelle de quartier).	98
Graphe III.7: Le positionnement des échantillons des quatre villes sur le diagramme SpaceMate	98
Graphe III.8: Types de construction définie par Martin et March (1972, p. 36) ; Pavillonnaire, Rue et Cour positionné sur le diagramme SpaceMate.	100
Graphe IV.1: Les gains solaires passifs (kWh/m ² /an).	115
Graphe IV.2: Relation entre l'albédo et la hauteur solaire.	115
Graphe IV.3: La moyenne du facteur de vue de ciel au niveau du sol.	133
Graphe V.2: Moyenne de luminance (8h-18h) [klx].	145
Graphe V.1: Irradiation par [kWh/m ²].	145
Graphe V.3: Un exemple d'une rose d'orientation.	145
Graphe VI.1: Pluviométrie et température de la ville de Biskra.	169
Graphe VII.1: Représentation du CES en fonction du COS des différentes configurations urbaines du cas d'études par Excel 2010.	203
Graphe VII.2: Représentation du COS en fonction du COS des différentes configurations urbaines du cas d'études par Excel 2010.	205
Graphe VII.3: Le positionnement des différents quartiers dans le diagramme SpaceMate.	207
Graphe VII.4: Le positionnement des différents modèles sur le diagramme SpaceMate.	215

Graphe VIII.1: L'énergie solaire globale cumulée mensuelle incidente, établie par Excel 2010. _	224
Graphe VIII.2: L'énergie solaire globale cumulé en fonction du CES des trois modèles idéalisés des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel 2010. _____	225
Graphe VIII.3: L'énergie solaire globale cumulé en fonction du COS des trois modèles idéalisés des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel. _____	226
Graphe VIII.4: L'énergie solaire globale cumulé en fonction du nombre d'étages des trois modèles idéalisés des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel. _____	227
Graphe VIII.5: La viabilité des systèmes solaires (photovoltaïques et collecteurs thermiques) des toitures des enveloppes des modèles urbains en pourcentage(%). _____	231
Graphe VIII.6: La viabilité du système solaire photovoltaïque des façades des modèles urbains en pourcentage(%). _____	232
Graphe VIII.7: La viabilité des collecteurs solaires thermiques pour les façades des modèles urbains en pourcentage(%). _____	233
Graphe VIII.8: La viabilité solaire passive pour les façades des modèles urbains en pourcentage(%). _____	234

LISTE DE SCHEMA

Schéma 1: Le processus de travail _____	6
Schéma 2: La structure de l'étude comparative de l'investigation. Source: Auteur Mai 2015. __	7
Schéma II.1: Les ingrédients de la ville intense. _____	61
Schéma II.2: L'intensité urbaine comme opérateur de densification qualifiée. _____	62
Schéma III.1: Illustration du diagramme SpaceMatrix. _____	91
Schéma IV.1: La hauteur solaire. _____	115
Schéma V.1: Organigramme synoptique de la démarche utilisée et des outils pour calculer l'irradiation solaire sur le territoire. _____	137
Schéma V.2: Méthode de travail proposé pour l'étude. _____	139
Schéma V.3: Le processus de travail. _____	139
Schéma V.4: Le principe de la simulation utilisant la technique Ray tracing. _____	143
Schéma V.5: La structure de l'outil PPF. _____	144
Schéma V.7: Processus de l'évaluation numérique de l'énergie solaire. _____	161
Schéma V.8: Processus de la viabilité des surfaces de l'enveloppe bâti. _____	164

REMERCIEMENTS

“رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والدي وأن أعمل صالحا ترضاه وأدخلني برحمتك في عبادك الصالحين”

النمل(19)

Les remerciements, c'est toujours un moment émouvant...! Cela signifie que c'est la fin du travail mais ce n'est que le début de mon parcours dans de la recherche scientifique !

Tout d'abord Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

*Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude à mon encadreur le **Perf Zemmouri Noureddine** , qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivit de ce travail.*

*Je remercie le laboratoire de l'informatique pour son chaleureux accueillie et la facilité de la procédure de travail précisément **Mr Charif Foudil** de m'avoir aidés matériellement et moralement sans lui je ne pourrais terminer, vous étiez à la hauteur Mr merci infiniment.*

*Je remercie chaleureusement Mr et Mme **Djenane** pour leurs soutien et encouragement ainsi que pour leurs présence malgré la distance ; **Sahar** tu a été le bon exemple d'une grande sœur à mes côtés.*

*Mes remerciements les plus distingués, je les exprime également envers **Perf Belekhal Azzedine** ; le chef de département dont il facile toute les tâches administratives, je le remercie pour son encouragement pour ces orientations pour le soutien et sa présence au besoin, Merci infiniment Mr ; Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de présider le jury de mon Magister.*

*Je tiens également à exprimer ma gratitude au **Dr Soumia Bouzeher** pour son encouragement, sa générosité et ses précieux conseils merci sœur.*

*Mes très vives remerciements sont destinés en particulier à mon amie **Esma Djedjai** pour ces encouragement son aide sa générosité, sa serviabilité et sa disponibilité, surtout au moment difficile , Merci pour les bons moments qu'on a passé ensemble*

*j'adresse mes remerciements aux honorables membres du jury qui, malgré cette période chargée de travail, ont pris le temps d'examiner avec soin ce document, donnant lieu à une soutenance riche en discussions. Merci en particulier à Messieurs **Belekhal Azzedine** , **Brima Abdelhafid** et Madame **Sriti Leila** d'avoir rapporté ce travail de Magister auprès l'Ecole Doctorale.*

Je remercie mes amis qui ont été à mes côtés dans les moments difficiles

Je remercie toute personne a essayé de m'aider de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail

Enfin je tiens à exprimer mes sincères gratitude et remerciements aux personnels de département d'architecture de l'université de Biskra, et en particuliers mes valeureux enseignants qui m'ont inculqués durant mon cursus universitaire.

Mes remerciements à tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents

Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte.

Votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.

Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, espérant que je suis à la hauteur de vous souhaite

Chaque ligne de ce travail ; chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime ; merci.

Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie .

A toi maman d'avoir consacré de ton temps et de ta patience à la lecture et à la correction de mon manuscrit. Merci

Merci pour ton soutien perpétuel, merci pour ton encouragement, merci d'avoir forgé en moi la volonté d'avancé

A ma très chère sœur

*Ma petite et unique sœur **Nadjeh** "la réussite" tu as toujours été à mes côtés malgré la distance qui nous sépare depuis sept ans, tu es mon fidèle compagnon dans les moments les plus difficiles. Je te souhaite la réussite dans ton chemin.*

A mes très chers frères

Vous m'avez toujours soutenu et vous continuez à le faire. Veuillez trouver dans ce travail un modeste témoignage de mon admiration et toute ma gratitude, de mon affection la plus sincère et de mon attachement le plus profond.

Je le dédie aussi A toi Meriem je ne t'ai pas oublier tu as toujours été présenté, je te souhaite tout le bonheur a traves ces mots.

Merci de m'avoir fait confiance.....

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Les scientifiques travaillent depuis des années sur la question du réchauffement climatique, ses origines, son impact, et sur la manière de lutter contre ce phénomène.

Son origine c'est les gaz à effet de serre, en sa tête le gaz carbonique qui représente 70% des émissions, dont une partie reste dans l'atmosphère et le reste est absorbé par les océans et les végétaux. Ils ont prouvé que l'activité humaine est l'acteur principal de sa génération.

Cette dernière nécessite l'utilisation des énergies de toute sorte, renouvelable ou non renouvelable, dont ils font subir au climat des bouleversements importants, d'où elles émettent des quantités énormes de gaz à effet de serre. Sur la terre de nombreuses sources d'énergie à la disposition de l'homme, parmi elles les énergies fossiles, qui sont les plus utilisées, car elles sont plus faciles à exploiter mais elles sont non renouvelables, et leurs impacts sur l'environnement sont notable, elles émettent une grande quantité de gaz à effet de serre ce qui contribue au réchauffement climatique qui devient lui-même un fait grandissant pour la terre, la détérioration de l'environnement urbain et la perte de la qualité de vie en ville habitée par l'homme et ce qui menace sa santé.

A l'encontre, de nombreuses énergies non polluantes, partout à la surface du globe pourraient pourtant être exploitées par l'homme et dans tous les domaines.

Face aux émissions de gaz à effet de serre produit par les énergies fossiles, l'utilisation des énergies dites renouvelables autrement dit inépuisables (l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique, l'énergie solaire, etc.....) est une alternative d'avenir encore à développer.

L'énergie solaire présente un potentiel énorme sur la surface terrestre, c'est la principale source de lumière et parait la plus rentable, la moins polluante et la moins couteuse grâce à la technologie puisque elle est disponible partout sur la surface de la terre. Elle est aussi la plus facile à exploiter, elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.

Dans un contexte saharien, le potentiel de cette énergie est quasiment permanent, un intérêt immense doit être porté à cette source afin de mieux l'intégrer aux bâtiments et profiter de ces avantages. La ville de Biskra fait partie du contexte saharien et plus précisément des zones arides et chaudes, pour tirer parti des avantages qu'offre cette source, il est nécessaire de se pencher vers une étude appropriée à ce contexte.

1. LA PROBLEMATIQUE

Le soleil est une source d'énergie inépuisable et se trouve partout sur le globe, il a été toujours la source principale de la lumière naturelle, de chaleur ainsi que d'énergie.

La terre reçoit du soleil plus de 10 000 fois la puissance énergétique totale installée par l'homme aujourd'hui ; il constitue donc une ressource énergétique fondamentale¹.

Le potentiel solaire est quasi illimité, il offre des possibilités considérables pour le développement des applications solaires via l'exploitation de son énergie sous ses différentes formes selon les divers modes de captages, où il existe plusieurs types qui le permettent, soit par une exploitation passive qui relève d'une conception architecturale intégrée généralement appelée architecture bioclimatique ou bien active. Ce dernier se fait par l'utilisation des équipements mécaniques pour capter, déplacer puis distribuer la chaleur d'installation thermique ou photovoltaïque.

Le développement croissant des villes exerce une influence prépondérante sur la consommation énergétique du parc immobilier, en Algérie comme dans le reste du monde.

L'Algérie est un pays qui présente un énorme gisement solaire vu sa situation géographique avec une durée d'ensoleillement importante durant l'année, ce qui représente une quantité pouvant couvrir sa demande énergétique qui augmente avec le développement du parc de logement.

Pour minimiser sa consommation d'énergie; on doit d'abord se protéger des rayons solaires intenses comme un 1er acte ensuite il nous faut chercher des solutions pour l'optimisation de l'exploitation du rayonnement solaire qui malgré son intensité indésirable peut être utilisée comme énergie non polluante.

Avec son climat chaud et sec, la ville de Biskra, s'inscrit dans une région aride où la période estivale dure pratiquement six mois, avec une demande énergétique accrue en matière de climatisation et de refroidissement.

Dans un tel milieu urbain avec des caractéristiques spécifiques, l'architecture et l'urbanisme vernaculaires ont toujours opté pour un tissu urbain compact et dense pour différentes raisons (climatiques, socio-culturelles....), tandis que l'urbanisation moderniste s'est tournée vers les tissus urbains moins denses et plus aérés ; dans l'intérêt de répondre à la demande accélérée de logements.

¹ CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT DE LYON, ETUDE DE L'ENSOLEILLEMENT D'UN SITE

La question de la densité urbaine reste un sujet sur lequel le débat est toujours ouvert, opté pour un tissu compact et dense ou bien un tissu éclaté et plus aéré reste un point culminant vu son influence sur l'étalement urbain, l'utilisation du sol et des ressources, l'efficacité des infrastructures et des transports publics, la mobilité urbaine ainsi que la consommation d'énergie et l'émission de polluants.

Beaucoup de recherches ont été effectuées sur le type de tissu urbain le plus approprié pour une ville durable. Ces derniers ont affirmé que la forme urbaine compacte est la plus adéquate pour un climat chaud et aride, mais si on cherche à intégrer les systèmes solaires on se demande si elle est aussi favorable ou bien on doit revoir et chercher une forme plus appropriée pour un climat spécifique.

Souvent l'intervention à l'échelle urbaine est négligée, alors que le bâtiment s'inscrit dans un milieu bâti, c'est le milieu urbain, qui doit être pris en considération lors de l'étude de la performance énergétique. Récemment beaucoup d'études ont abordé le thème de l'intégration de l'efficacité énergétique dans la pratique architecturale. Néanmoins, beaucoup de ces initiatives proposent des solutions qui favorisent l'utilisation raisonnable de l'énergie dans des bâtiments pris isolément, mais sans pour autant intégrer l'impact des bâtiments les uns sur les autres à l'échelle de la ville. Aussi l'influence de la forme urbaine dans la performance énergétique et la qualité environnementale de ces bâtiments sont négligées.

L'intervention sur le bâtiment uniquement comme élément isolé ne suffit pas sans agir sur son environnement en 1^{er} lieu, donc il est indispensable d'agir tout d'abord sur tout l'environnement bâti puis passer à l'échelle du bâtiment.

Il est donc important et indispensable de s'intéresser à l'ensoleillement à l'échelle urbaine pour pouvoir offrir une exploitation optimale de l'énergie solaire aux usagers dans l'intérêt de réduire la consommation énergétique.

Il est aussi nécessaire d'étudier et de chercher les meilleures configurations pour aboutir à une meilleure exploitation du rayonnement solaire à l'échelle urbaine sous des conditions climatiques et physiques spécifiques.

Donc la présente recherche vise à répondre à la question suivante:

Quel est l'impact de la configuration urbaine sur l'intégration et l'exploitation du gisement solaire dans la ville de Biskra ?

Dans l'intérêt de répondre à cette question ; et sur la base de la littérature trois hypothèses ont été établies :

- La forme urbaine est le paramètre primordial et essentiel qui influe sur l'exploitation du gisement solaire en milieu urbain.
- La forme urbaine lâche est la plus adéquate du point de vue intégration des applications des systèmes solaires.
- Les configurations urbaines les plus adaptées et les plus favorables à un milieu chaud et aride pour une meilleure exploitation du gisement solaire est la configuration très dense.

2. LES OBJECTIFS

Ce travail s'inscrit dans une démarche de développement durable, contribue au débat sur les configurations urbaines les plus favorables dans un contexte spécifique, qui a comme objectif principal de réduire le recours à l'énergie non renouvelable et maximiser l'utilisation d'énergie solaire ; ainsi que la lutte contre le réchauffement climatique réduisant l'empreinte de l'homme sur son environnement.

L'ensoleillement comme générateur de la forme urbaine du projet architectural ainsi que le projet urbain, il est indispensable à travers cette recherche de viser les objectifs suivants :

- Evaluer l'effet des configurations urbaines présentant des niveaux de densités urbaines variées sur l'exploitation du gisement solaire d'une ville appartenant aux régions arides à climat chaud et sec, cas de la ville de Biskra ; afin de démontrer que la configuration urbaine selon son niveau de densité peut modifier l'ensoleillement et la quantité d'énergie solaire incidente localement en accentuant ou en banalisant son incidence.

- Déterminer la configuration urbaine la plus adéquate pour l'intégration des systèmes solaires. C.-à-d. déterminer la configuration urbaine qui assure le seuil optimal de rayonnement solaire pour intégrer les différentes techniques et systèmes solaires.

- Contribuer au débat du développement durable en déterminant la configuration urbaine qui pourra aider à réaliser une ville durable, dans les régions arides.

3. CAS D'ETUDE

Cette investigation contribue au débat du développement urbain durable dans les régions arides et semi-arides ; de plus de sa représentativité des villes arides, la ville de **Biskra** est choisie comme cas d'étude, aussi par sa situation géographique, elle bénéficie

d'un gisement solaire important tout au long de l'année qui lui permet son exploitation dans différentes applications solaires.

Du point de vue morphologique son tissu est très hétérogène ; de ce fait cette étude repose sur une étude comparative des configurations urbaines ayant des niveaux de densité urbaine variée ; entre traditionnelles très denses construites en harmonie parfaite avec son environnement naturel, à d'autres tissus contemporains des lotissements (ZHUN Est, Ouest) planifiés moins denses et des tissus relativement aérés (lâches) présentent l'habitat collectif.

Les prototypes sélectionnés sont soumis, sous les mêmes conditions climatiques et présentant des caractéristiques topographiques pareilles.

4. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

D'après les travaux antérieurs on a conclu la méthodologie de travail et les indicateurs qui nous intéressent le plus pour la courante investigation.

Afin de vérifier nos hypothèses, cette étude s'est développée sur deux parties essentielles ; un état de l'art qui structure la partie théorique, et une étude comparative de configurations urbaines de niveau de densité variée appliquée au cas de la ville de Biskra compose la partie pratique de cette recherche.

L'étude théorique, est composée de quatre chapitres:

- Dans le **1^{er} chapitre** on se focalise sur la notion du gisement solaire tout en expliquant les paramètres essentiels concernant l'ensoleillement tout en essayant de caractériser les indicateurs qui influent sur l'accès du rayonnement solaire au tissu urbain.

- Le **2^{ème} chapitre**, on essaye d'expliquer la notion de la densité urbaine et ces indicateurs, qui permettent de mesurer la densité physique.

- Dans le **3^{ème} chapitre**, on a essayé d'expliquer la notion de la densité multi-variable, qui aborde la densité par sa troisième dimension en ajoutant la hauteur des constructions, dans ce chapitre on aborde un outil récent qui permet de faire une lecture détaillée sur la morphologie du tissu urbain tout en donnant une empreinte particulière à chaque tissu.

- Le **4^{ème} chapitre** comporte l'analyse de l'impact de la morphologie de la ville sur l'irradiation solaire incidente au sein du tissu urbain ; en mettant en exergue les diverses interactions possibles. Les variables retenues pour déterminer la configuration urbaine sont : la densité urbaine, exprimée par le COS, CES et la hauteur de bâtiments.

• Le **5^{ème} chapitre**, décrit les méthodes utilisées pour l'évaluation d'irradiation solaire ainsi que le modèle d'analyse appliqué dans cette étude.

• Le **6^{ème} chapitre**, on présente le cas de notre étude ainsi que la sélection des prototypes pour l'application tout en expliquant les étapes suivies pour cette sélection.

• Le **7^{ème} chapitre**, se concentre sur l'analyse des prototypes présélectionnés à l'aide de l'outil *SpaceMate* tout en élaborant une lecture morphologique détaillée de ces configurations.

• Le **8^{ème} chapitre** porte sur la présentation des résultats de la simulation et leur interprétation.

Et enfin les conclusions générales, qui comportent les limites de l'étude ainsi que les pistes de recherche à développer.

Le schéma ci-contre (I.1) résume la structure de travail.

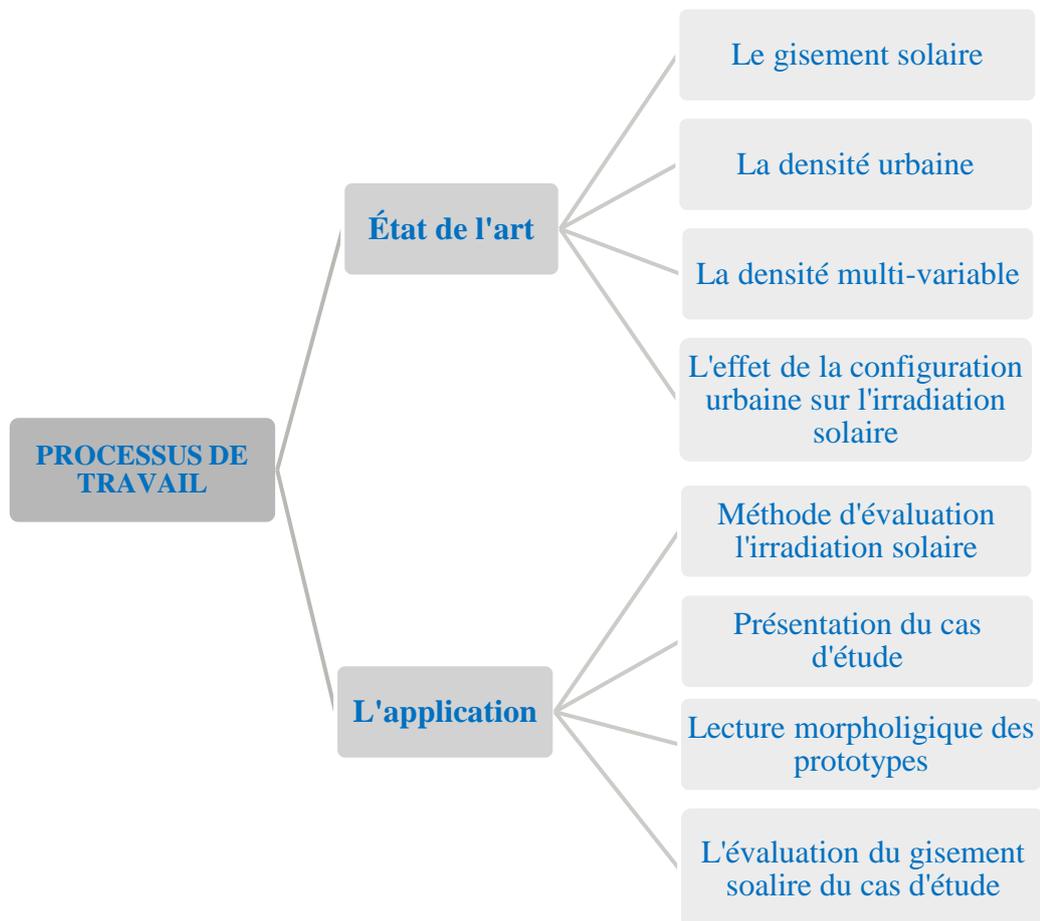


Schéma 1: le processus de travail. Source: Auteur.

4.1. L'application

Le processus de l'étude comparative s'est développé sur deux étapes fondamentales expliquées dans le schéma (I.2) ci-dessous:

- Une analyse typologique du tissu urbain de la ville de Biskra, notre cas d'étude.
- Une évaluation numérique du gisement solaire à l'aide du logiciel de simulation thermo-radiatif *Solene*.

Chacune de ces deux étapes sont expliquées en détail dans ce qui suit

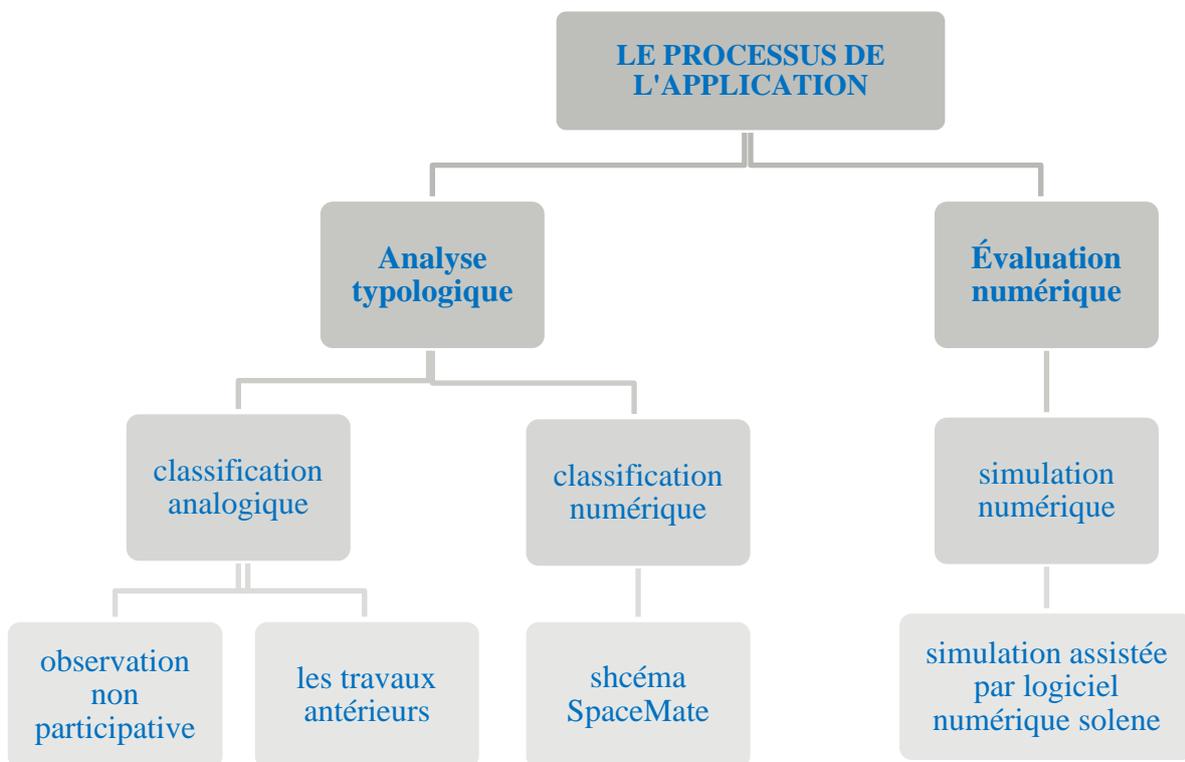


Schéma 2: la structure de l'étude comparative de l'investigation. Source: Auteur.

4.2. Analyse typologique

4.2.1. Classification analogique des prototypes

Dans cette partie on va s'appuyer essentiellement sur la littérature des travaux antérieurs ainsi que des sorties sur terrain afin de compléter les informations manquantes.

En se fondant dans la littérature où beaucoup de travaux traitent l'analyse typomorphologique urbaine de la ville de Biskra, mais aussi par l'utilisation des outils et des documents juridiques tel que le POS, PDAU, qui est une tâche aussi primordiale pour l'étude d'évolution du tissu urbain de la ville, la sélection des prototypes du cas d'étude, la ville de Biskra, sera faite suivant plusieurs étapes.

Les configurations similaires des constructions seront identifiées, ensuite le processus de classifications qui reposait essentiellement sur le degré de densité de chaque quartier en utilisant une méthode qualitative; l'époque de développement, et le contexte urbain, et les typologies des bâtiments qui le composent dont l'outil sera l'observation non participative pour identifier trois catégories de densité urbaine (selon les normes définies par *Zucchelli*).

D'après *Hamel. K(2005)* "Il paraît que l'appréciation de la densité à partir de ses coefficients n'est pas toujours explicite, vu l'absence d'une approche tridimensionnelle systématique du cadre bâti". A cet égard la détermination du niveau de densité du cadre bâti n'est pas assez précise ce qui nécessite de faire recours à la troisième dimension faisant appel à un autre outil de classification et qui permet d'introduire le nombre d'étages.

4.2.1.1. La classification numérique des prototypes: le diagramme SpaceMate

La nécessité de définir clairement une méthode, une enquête sur la relation entre la densité et la forme bâtie pourrait s'avérer productive à la fois à l'urbanisme en tant que discipline académique et à la pratique de la planification et de la conception. La méthode *SpaceMate* décrite dans les travaux (*Berghäuser Pont & Per Haupt, 2005, 2009, 2010*) fournit une technique de mesure cohérente et révèle un lien entre les densités et les typologies d'aménagement du territoire, l'environnement urbain, et l'espace non bâti. (*Berghäuser Pont & Per Haupt, 2005*).

En utilisant des indicateurs des règlements d'urbanisme sous forme de coefficients tel que le COS, le CES, le nombre d'étages,... etc. et en explorant les densités des mêmes prototypes d'une autre manière de classification avec un outil qui englobe quatre indicateurs au même temps suivi d'un diagramme qui donne à chaque prototype une empreinte particulière, ceci va nous aider à examiner ces derniers sélectionnés auparavant et comparer les résultats obtenus à la fin.

SpaceMate est un outil basé sur la relation entre la densité physique et la forme urbaine: “Nous suggérons qu'un instrument de conception et de planification basé sur une combinaison de concepts de densité peut aider les planificateurs et les concepteurs à comprendre la capacité de l'espace et aider à concevoir des conditions appropriées pour l'évolution largement imprévisibles”. (Berghäuser Pont & Per Haupt, 2005).

C'est un outil qui va permettre la lecture morphologique ainsi que la classification des tissus urbains selon l'échelle d'étude autrement dit une lecture plus précise.

4.2.1.2. Évaluation numérique

Dans cette phase finale on essaye d'évaluer les effets de la configuration urbaine sur l'irradiation solaire, de ce fait on va opter pour une évaluation numérique de trois configurations urbaines virtuelles construites à partir des caractéristiques des prototypes sélectionnés dans l'étape précédente représentatifs du tissu urbain de la ville de Biskra.

Les résultats de la simulation numérique obtenus par le logiciel *Solene* seront comparés par la suite afin d'estimer ces effets.

CHAPITRE I

LE GISEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION

Le rayonnement lumineux solaire est à l'origine de presque toutes les formes d'énergies renouvelables bien sûr (soleil direct, cycle de l'eau, photosynthèse), mais aussi fossiles (charbon, pétrole et gaz).

Les énergies renouvelables semblent progresser plus vite, comme l'attestent les inaugurations de centrales et le lancement de nouveaux chantiers par le ministre de l'Energie et des Mines. L'efficacité énergétique, quant à elle, remplit moins les discours officiels, on peut même dire, sans risque d'exagération, qu'elle en est absente. Le plan d'action du gouvernement en matière d'efficacité énergétique touche d'abord à l'isolation thermique des bâtiments. Cela s'explique par le fait qu'en Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore; sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale.

L'introduction de l'isolation thermique des bâtiments devrait permettre de réduire d'environ 40% la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements. En tant qu'énergie renouvelable l'énergie solaire est inépuisable, respectueuse de l'environnement; son utilisation doit être encouragée.

L'efficacité énergétique signifie une utilisation plus responsable de l'énergie et contribue à préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale. Les collectivités locales sont appelées, elles aussi, à participer à l'effort d'économie d'énergie en agissant sur l'éclairage public qui est l'un des postes les plus énergivores de leur patrimoine et les élus et responsables locaux souvent l'ignorent. Un workshop d'experts s'est tenu en juin 2014, à l'université technologique TU Dortmund, en Allemagne, à l'initiative du *Ali-Toudert.F* dans le cadre d'un programme de la fondation allemande pour la recherche (DFG) visant l'initiation de la coopération scientifique bilatérale internationale. L'objectif de ce workshop selon (CDER) était de *“discuter les possibilités de coopération scientifique entre l'Allemagne et l'Algérie dans les domaines de l'efficacité énergétique des bâtiments, l'intégration des énergies renouvelables, et le développement urbain durable”*, dans la perspective d'offrir des réponses locales pour réduire, voire s'adapter aux effets du changement climatique¹.

L'ensoleillement moyen en Algérie et précisément à Biskra est largement suffisant pour une exploitation optimale de l'énergie solaire, soit “passive”, ou “active”, selon la technique utilisée pour capter le rayonnement solaire.

¹ URL : [<http://www.reporters.dz/traitement-mediatique-lefficacite-energetique-sous-estimee-en-algerie/12962>] (Consulté le 04/ 05/2015 à 23h20).

1. APERÇU HISTORIQUE SUR L'ENSOLEILLEMENT A L'ECHELLE URBAINE

La question de l'afflux des rayons solaires dans l'environnement humain dont l'architecture et l'urbanisme ne font pas exception, occupe depuis longtemps une place notable du discours de la production des villes; dont l'hygiène urbaine exige des conditions nécessaires et favorables à la vie biologique de l'homme dans son environnement.

La longue histoire des villes et des agglomérations dépassant les 10000 ans raconte le privilège d'estimer le soleil, depuis l'antiquité. Elle fut soulignée par Aristote vu son rôle polyvalent ; et son importance vitale.

1.1. L'époque antique: la ville vernaculaire

Les croyances religieuses liées au soleil ont beaucoup influencé l'architecture et l'urbanisme des villes antiques, le temple égyptien *Karnak*, situé sur la rive orientale du Nil, connu comme le temple du solstice solaire ; est implanté en fonction du mouvement du soleil.

Karnak avait des alignements spéciaux qui correspondaient aux solstices d'été et d'hiver, le lever du soleil au solstice d'hiver apparaît à l'Est sur la voûte de l'axe du temple célébrant le dieux-soleil à travers ses majestueux piliers ; aussi une des plus anciennes villes pharaoniques Egyptiennes d'*Iounou* ; visé par les grecs comme Héliopolis ou ville de soleil (manque d'information sur cette ville). (*M. Boubekri, 2008*)

Les Romains avaient aussi orienté les plans des villes qu'ils ont fondées, leurs camps et leurs centuriations d'après la direction du soleil levant en vertu d'une vieille tradition religieuse héritée des Etrusques². La fondation de la ville romaine s'opère sur l'idée de la détermination de la direction du *decumanus maximus* d'après le lever du soleil au jour de la fondation, puis le tracé du réseau orthogonal des rues à partir de cette direction initiale; ensuite la délimitation du territoire urbain par le rite du *sulcus primigenius*, qui fixait le tracé du rempart, le *decumanus maximus* était la projection sur la terre du mouvement apparent au soleil, le *cardo maximus* était celui de l'axe de ce mouvement, le territoire urbain, de forme quadrangulaire ainsi orienté, constituait un temple au sens que la tradition religieuse romaine avait emprunté à la tradition religieuse étrusque (*Joël Le Gall, 1975*). La prise de conscience des bienfaits du soleil était omniprésente. Ils ont creusé des ouvertures et des cours pour optimiser l'exposition solaire et profiter de la chaleur, la fraîcheur et de l'ombre (*M.*

² La théorie de la ville/temple a été combattue depuis longtemps par Valeton et par C. O. Thulin mais leur opposition n'a pas rencontré grand succès et pas davantage.

Boubekri, 2008), ils ont aussi proposé la législation de l'accès solaire. Ainsi pour chauffer leurs maisons ; ils ont proposé des fenêtres en verre, qui captent et conservent la chaleur solaire. (**C. Mahaya, 2014**). Dans *“Les dix livres de l'architecture de Vitruve”* (**Morgan, 1914**), il écrivait: *“Les bâtiments doivent être soigneusement enfermés plutôt que exposée vers le Nord, et la partie principale doit faire face au côté Sud chaud”* (cité par : **M. Boubekri, 2008, p.22-23**); ce qui indique la disposition des pièces chez les Romains par rapport au soleil et leur répartition autour d'une cour à l'aide d'un diagramme tracé au sol.

D'après **Joël Le Gall(1975)**, la civilisation chinoise en a connu une théorie de ce genre qui lui ressemblait beaucoup: *“les capitales impériales chinoises avaient un plan en damier, strictement orienté, qui était censé refléter sur le plan terrestre l'organisation idéale du cosmos. L'axe principal était matérialisé par une voie nord-sud, dite “du Moineau rouge”, qui conduisait au palais impérial”*. Pour beaucoup de ces communautés, le soleil était la principale source de chauffage et une source essentielle de confort et de bien-être. (**M. Boubekri, 2008**).

1.2. L'époque moderne: la révolution industrielle

Vers la fin du 19eme siècle l'Europe a connu d'énorme bouleversement au niveau de tous les secteurs. Un développement important des matériaux, des techniques et des moyens de construction, C'est là où commençait la révolution industrielle, à ce moment-là l'exode rural vers les villes cherchant un travail au près des usines. Ceci a aggravé la demande de logements et à pousser les familles à s'entasser dans une seule pièce, ce qui a conduit à la forte densité et par conséquent une ville malsaine souffrant de maladies, des épidémies à cause de la mauvaise aération, le manque de lumière et d'ensoleillement. Le problème de la maîtrise du rayonnement solaire pour l'accommoder aux besoins de lumière et de chaleur dans les bâtiments et dans les villes occupe une partie notable des discours des architectes, médecins et ingénieurs à partir de la seconde moitié du XIXe siècle. L'hygiène urbaine dépend surtout de l'ensoleillement optimal des rues et des bâtiments, leur ventilation naturelle résulte aussi des effets thermiques du soleil. (**Luben Tonev, 1972**). Elle est selon **D.Siret (2006)**: *“Il a été l'un des éléments de construction des principales utopies, de la Cité du Soleil de Tommaso Campanella , à la plus récente Ville radieuse de Le Corbusier, sans oublier les Etats et Empires du Soleil de Cyrano de Bergerac, moins connus mais tout aussi révélateurs”*.

A l'encontre, la ville de lumière des maîtres s'oppose à la ville souterraine des travailleurs.

Considérée comme thérapie (leur médecin), une fonction vitale traditionnellement attribuée au soleil, apparaît à la fin du XIXe siècle dans le contexte du rationalisme urbain lié à l'hygiénisme. L'architecte doit savoir utiliser les effets de la lumière naturelle sur les bâtiments qu'il construit s'il est artiste comme le soutient *Boullée*, pour produire les sensations les plus frappantes. **D.Siret (2006)**.

En effet beaucoup d'approches et de théories apparaissent à cette époque, imposant l'accès solaire ; la lumière et l'aire au sein de la ville ainsi que l'existence des espaces verts à l'intérieur de la ville, afin de les remédier, à cet égard des propositions de villes utopiques. *Ebenzer Howard* en 1898 crée la *Cité jardin* une ville de taille limitée entourée d'espace vert. Grâce au progrès technologique et des nouveaux matériaux l'architecture et l'urbanisme ont connu un bouleversement, un rejet total de l'architecture vernaculaire et la ville traditionnelle ; et c'est dans ces conditions qu'apparaît le mouvement moderne, en 1928 *Le Corbusier* contribuera à l'organisation des **CIAM**³ dans l'intérêt d'améliorer les conditions des villes modernes, qui doit permettre l'épanouissement harmonieux de quatre fonctions humaines : habiter, travailler, se récréer et circuler, les villes aussi doivent être dotées de l'aire frais, inondées de lumière et d'espace vert, la circulation mécanique dans de larges rues qui vont avec l'aire industrielle.

“ *La vie des formes* ” traduisait par la succession des formes plastiques sous la lumière du soleil une idée proposée par *M. Twarowski* à fin d'expliquer l'*hélioplastique*, qui la trouve une expression séduisante de la ville: “ *Les nouvelles villes créeront une nouvelle beauté, une mélodie quotidienne de formes, de couleurs, d'ombres et de lumières*”.

La théorie héliothermique, de **A. Rey, et al.,(1928)** supposée conduire à une optimisation solaire des tracés urbains. Au nom de l'égalité héliothermique des façades, l'orientation optimale des bâtiments se situerait autour de 20° par rapport à l'axe nord-sud (19° à Paris), la façade étant décalée vers le sud et la façade ouest vers le nord. (**D.Siret, A.Harzallah, 2006**). *Le Corbusier* a contribué le plus à faire connaître la théorie de **Rey et al., (1935)** en définissant l'axe héliothermique comme “ *l'armature du tracé urbain*”.

En mettant en œuvre l'axe héliothermique comme principe fondamental pour l'orientation de la Ville radieuse dès 1930, ensuite l'unité d'habitation de Marseille (1945). (**D.Strit, A .Harzallah; 2006**).

³ Les congrès internationaux d'architecture moderne ou CIAM, sont nés du besoin de promouvoir une architecture et un urbanisme fonctionnels.

En plus à son rôle hygiénique le soleil est selon *Luben Tonev (1972)* un facteur actif de l'esthétique urbaine; il assure la valeur des couleurs par son éclairage, l'expression des façades, et l'animation des volumes par le jeu d'ombre qui résulte du mouvement journalier de soleil. La prise de conscience de la considération de l'accès solaire et de la lumière naturelle à cette époque était bien claire et une évidence en architecture et en urbanisme, dont a été prouvée dans tous les travaux des pionnés du mouvement moderne.

1.3. L'époque contemporaine: la ville durable

Suite au choc pétrolier qu'a connu le mode en 1973, et face à une dépendance énergétique inévitable, la hausse de la démographie et une consommation croissante de ressources limitées, une crise énergétique mondiale s'est produite. Les spécialistes trouvent comme solution alternative, qu'il est temps de faire recours aux énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse, marées), qui sont présentes partout, et inépuisables grâce aux cycles naturels. Dans le contexte actuel de dépendance énergétique aux activités humaines un modèle de la planification urbaine plus durable est nécessaire, capable de fournir des solutions différentes pour le développement urbain et de prendre en compte l'énergie solaire.

D.Siret.et al. (2006) trouve que la ville durable fournit à ses habitants un soleil nourricier "viable", c'est-à-dire susceptible d'atténuer l'épuisement des ressources énergétiques fossiles terrestres, "vivable", contrôlé dans ses excès, et "équitable", pour que chacun puisse en profiter à sa guise. Les nouvelles villes solaires avec les dispositifs qui animent les façades des bâtiments contemporains (doubles peaux, panneaux photovoltaïques, écrans pare-soleil) témoignent clairement de ce renouveau.

En matière de développement urbain durable, cette ambition se retrouve aujourd'hui au cœur des recherches, qui révèlent dans certains cas une permanence notable des questionnements soulevés et des propositions faites pour contrôler l'ensoleillement des formes urbaines: meilleures orientations et gabarits des voies; recherches formelles ayant donné naissance aux terrasses,.....et autres enveloppes solaires; continuité et transformations des solutions de type galeries, bannes et auvents. Sous l'égide du soleil au chevet du métabolisme urbain, les projets actuels poursuivent, redécouvrent ou renouvellent un ensemble de questions et de solutions que l'histoire urbaine porte avec elle. (*D.Siret.et al., 2006*).

L'architecture et l'urbanisme solaire offrent donc des solutions et des réponses aux soucis environnementaux, à travers les principes de conceptions solaires passives et actives qui s'adaptent au climat et des nouvelles technologies solaires employées.

2. LE MOUVEMENT TERRE-SOLEIL

La course de la terre autour du soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du soleil, la terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe Nord-Sud fait un angle de $23^{\circ}27'$ avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du soleil. (A.Liébard, A.De Herde, 2005). Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du soleil et est responsable des variations saisonnières.

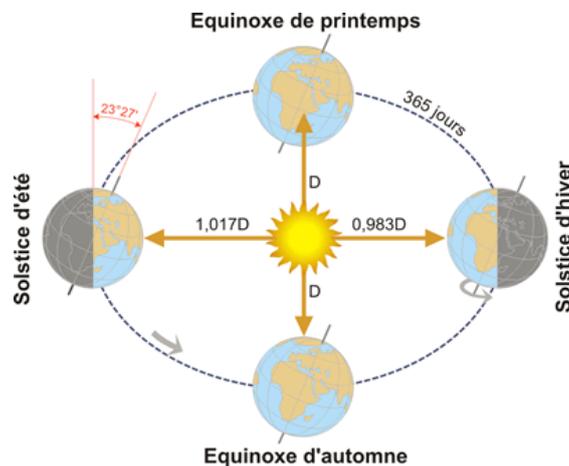


Figure I.1 : Description simplifiée du système solaire. Source: A.Liébard, A.De Herde, 2005.

2.1. Les coordonnées équatoriales du soleil

Les coordonnées équatoriales du soleil sont alors dans ce repère : la déclinaison et l'angle horaire. Ces coordonnées solaires sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre. Mais ces trajectoires apparentes du soleil vont apparaître différemment dans le ciel de l'observateur terrestre, en fonction de sa position sur la terre déterminée par la latitude.

2.1.1. La déclinaison solaire

L'axe de rotation de la terre est incliné par rapport au plan de l'écliptique (plan dans lequel la terre se déplace autour du soleil). La déclinaison solaire est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons.

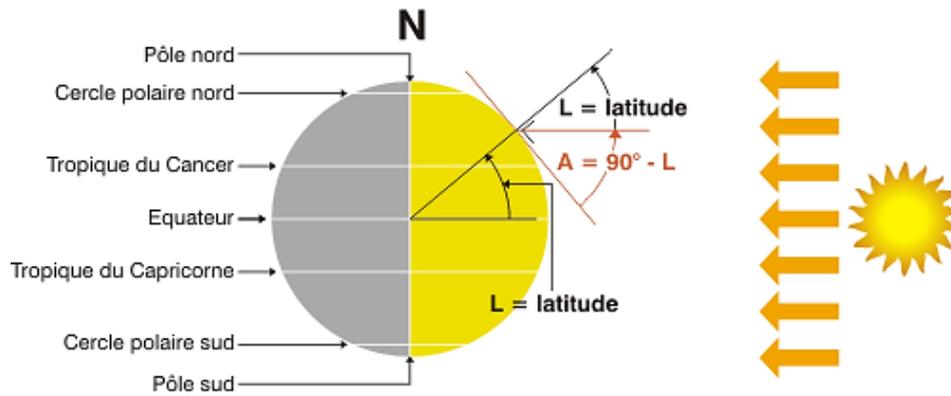


Figure I.2: Description simplifiée du système solaire. Source: URL [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 01/02/2016 à 18h40).

La déclinaison est l'angle entre le plan de l'équateur et la direction Terre-Soleil. Elle varie entre $23^{\circ}27'$ au solstice d'été à $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver, de manière sinusoïdale. L'inclinaison de l'axe de la terre permet d'expliquer la trajectoire apparente du soleil dans le ciel.

Aux équinoxes de printemps et d'automne, à midi, le rayonnement est perpendiculaire à l'équateur (latitude 0°) et partout sur le globe, les jours et les nuits sont de durée égale. C'est à ce moment que la hauteur du soleil à midi est la plus facile à calculer. En effet, la hauteur du soleil est égale à l'angle complémentaire de la latitude. $H = 90^{\circ} - L$

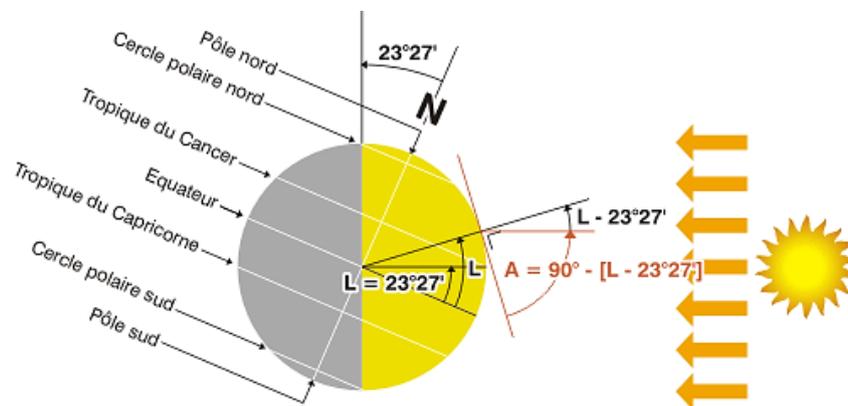


Figure I.3: Représentation des équinoxes de printemps et d'automne. Source: URL [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 01/02/2016 à 18h40).

Quand la terre est inclinée vers les rayons solaires $H = 90^{\circ} - L + 23^{\circ}27'$; la hauteur du soleil à midi (solaire) est de $23^{\circ}27'$ supérieure à celle de l'équinoxe, cela indique le solstice d'été.

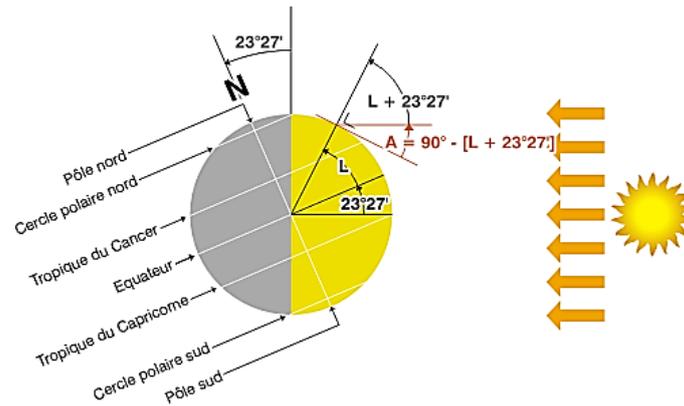


Figure I.4: Représentation du solstice d'été. Source : URL [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 01/02/2016 à 18h40).

Tandis que quand l'angle d'inclinaison est inversé, $H = 90^\circ - L - 23^\circ 27'$; la hauteur du soleil à midi est à $23^\circ 27'$ inférieure à celle de l'équinoxe, cela indique le solstice d'hiver. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, CERMA, 2016, André Hufty.2001).

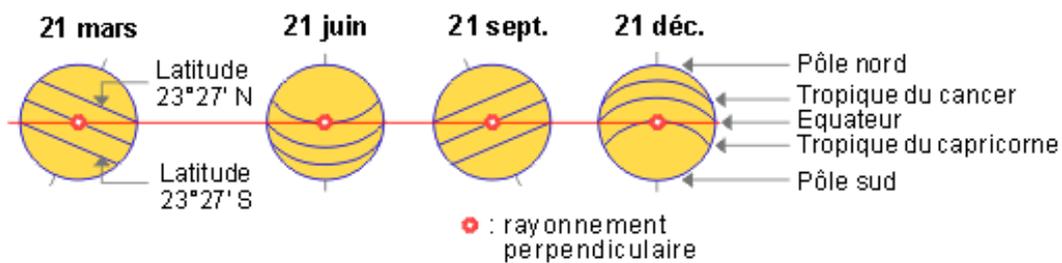


Figure I.5: Représentation du solstice d'hiver. Source: URL [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 01/02/2016 à 18h40).

2.1.2. L'angle horaire

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport au zénith, traduisant le mouvement journalier du soleil sur sa trajectoire. (CERMA, 2016).

L'angle horaire ω (encore noté AH) du soleil est déterminé par la rotation diurne de la terre autour de son axe. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en $^\circ$ d'angle (Alain Ricaud .Jan, 2011). Ce temps se compte de 0 à 24 heures à partir de midi. (UCL, 2016)⁴.

Suivant son positionnement sur la terre, pour une même date, ces différentes périodes d'ensoleillement seront plus ou moins longues, inversées, voire inexistantes. On peut ainsi identifier certains lieux où le soleil ne se lève pas à certaines dates. (CERMA, 2016).

⁴ UCL : L'université catholique de Louvain.

2.1.3. La latitude

La position d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude, une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire correspond à la distance angulaire, par rapport au Nord ou au Sud de l'équateur qui est le plan de référence. Lorsqu'ils sont reliés entre eux, tous les endroits de la terre ayant une même latitude, forment un cercle, dont le plan est parallèle à celui de l'équateur, d'où l'autre terme " parallèle " permettant de nommer une latitude.⁵ Les latitudes se comptent de -90° à $+90^{\circ}$ et la latitude de l'équateur est 0° . (*CERMA, 2016*), (*A.Hufty, 2001*) (*Alain Ricaud.Jan ,2011*).

3. LE MOUVEMENT DU SOLEIL

Bien que cela soit imperceptible, le soleil est en mouvement, et pour un observateur installé sur un point quelconque sur la terre, le mouvement apparent du soleil, est le mouvement qu'il semble faire en un jour. En dehors des régions polaires, de l'Équateur et des tropiques, le matin, au lever en bas sur l'horizon il apparaît à l'Est, à midi, le soleil est au Sud ou au Nord, et est au plus haut de sa course apparente ; et le soir, sur l'horizon encore bas il est à l'Ouest, c'est l'heure du coucher.

3.1.Repérage du soleil

Il est indispensable de bien comprendre et bien repérer la position du soleil dans le ciel à tout instant afin de bien implanter le projet dans son site. Savoir choisir la meilleure orientation, et choisir les bons moments dans lesquels il est intéressant de l'exposer et les périodes de le protéger. Ceci afin d'en tirer profit au maximum des apports solaires en hiver et en été soit par des systèmes actifs ou passifs. Aussi l'emplacement des pièces intérieures et leur éclairage naturel : l'emplacement des fenêtres, des protections solaires, etc.

Pour repérer la position du soleil dans le ciel à un instant donné, il est nécessaire d'utiliser deux coordonnées horizontales du soleil: **l'azimut et la hauteur**.

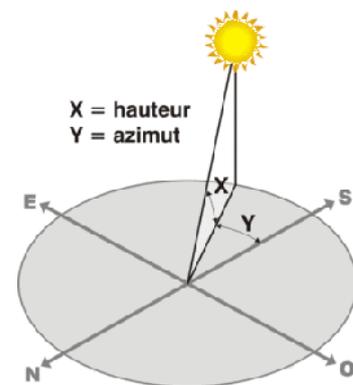


Figure I.6: Représentation des coordonnées horizontales solaire.
Source: [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 03/02/2016 à 09h).

⁵ URL : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Latitude>] (Consulté le 01/02/2016 à 23h10).

3.1.1. L'azimut

L'azimut solaire est l'angle que fait le plan vertical du soleil avec le plan méridien du lieu. Cet angle vaut 0° au Sud et est conventionnellement positif vers l'Ouest et négatif vers l'Est.⁵

3.1.2. La hauteur angulaire ou l'altitude

La hauteur α du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal. Elle se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste. (CERMA, 2016, A. Hufty, 2001) Cette hauteur intervient explicitement dans les calculs d'apport énergétique, l'implantation dans un site donne (Architectural ou une exploitation d'un gisement solaire) demande une étude des ombres portées par l'environnement bâti ou naturel. Il est donc commode de traduire au moyen d'abaques, la hauteur du soleil aux différents mois, d'où la course solaire peut être représentée par un diagramme en coordonnées rectangulaires.

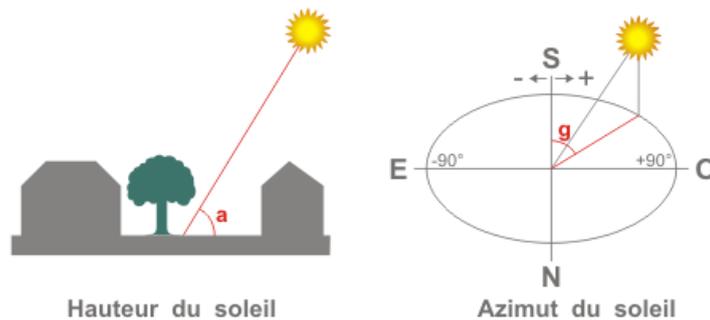


Figure I.7: De gauche adroite : représentation de la hauteur angulaire, représentation de l'azimut. Source: URL : [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 01/02/2016 à 22h30).

3.2. Le diagramme solaire

La représentation graphique de la course du soleil, constitue un moyen pratique et facile à comprendre pour repérer le trajet du soleil à travers le ciel, quel que soit le point de vue situé sur la terre. Le diagramme solaire est une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil à travers la voûte céleste ; qui est la partie visible du ciel dans toutes les directions au-dessus de l'horizon.

Le quadrillage du diagramme solaire représente les angles horizontaux et verticaux des points de la voûte céleste. Supposant qu'un observateur repérait l'azimut et la hauteur du soleil sur un hémisphère transparent au-dessus de lui et comme si, ensuite, il étirait cette portion de sphère en cylindre vertical. (UCL, 2016)

Les lignes horizontales du diagramme figurent les hauteurs angulaires de 10° en 10° au-dessus de l'horizon (0° pour le plan horizontal et 90° pour le zénith). Les lignes verticales du diagramme figurent les angles azimutaux de 10° en 10° .

Ces derniers nous permettent de repérer la position du soleil dans le ciel qu'en joignant les différentes localisations du soleil à divers moments de la journée, pour obtenir le tracé de la course du soleil.

A partir de ces deux dernières coordonnées (l'azimut et la hauteur) on peut déterminer facilement les masques solaires.

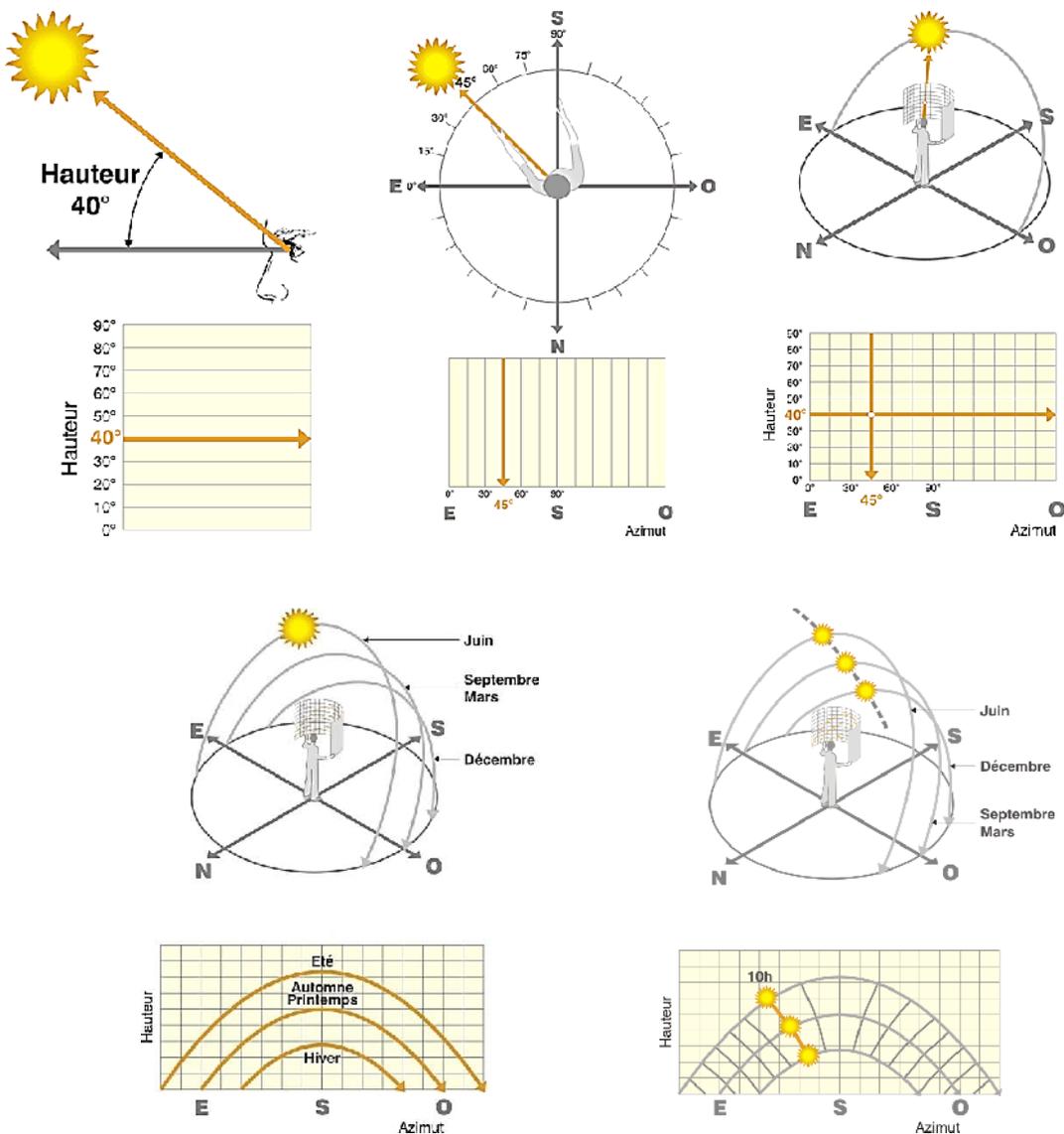


Figure 1.8: La construction du diagramme cylindrique solaire. Source : URL [<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>]. (Consulté le 02/02/2016 à 00h20)

3.3. Les masques solaires

Les masques solaires sont l'origine des ombres portées qui réduisent les apports solaires, soit par des fenêtres ou sur des capteurs. Ils peuvent être occasionnés par le relief, la végétation existante, les bâtiments voisins, ou encore par des dispositifs architecturaux liés aux bâtiments eux-mêmes. Dans les rapports soleil/architecture, la forme architecturale joue un rôle capital, non seulement en assurant, une transmission/occultation des ressources énergétiques du soleil, mais aussi en rendant plus lisible l'aspect extérieur d'un bâtiment par le jeu des ombres portées. Dans un milieu urbain ces masques constituent des écrans fixes pour leur voisinage. Leur rôle peut être positif si l'on recherche une protection contre le soleil : c'est le cas des villes méditerranéennes traditionnelles, où l'étroitesse des ruelles et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent un ombrage bienvenu ; par contre il peut être négatif si les bâtiments voisins masquent le soleil alors qu'on souhaite bénéficier d'apports solaires, comme dans les villes à basse latitude ou le soleil est de faible hauteur. Il importe de mesurer l'impact de l'effet de masquage dans la conception bioclimatique, en faisant recours à l'abaque des masques solaires. (§3.3.1 ; p21). (*UCL, 2016 ; A.Liébard, A.De Herde, 2005*)

3.3.1. Abaque des masques solaires

Définir quelles sont les zones ensoleillées et ceux qui sont à l'ombre, à un instant donné, sous les effets d'un masque architectural ou urbain. La réponse est facile verbalement, mais sur un outil graphique, l'expression ne donne pas une information globale. C'est pourquoi il est préférable de s'intéresser seulement aux instants de l'année, où une surface est totalement, partiellement, ou pas du tout, ombragée par un masque ; qui se traduit alors par un tracé de courbes des trajectoires solaires reportées sur son "diagramme". Connaître l'ensoleillement du site, aussi déterminer quelle quantité de rayonnement sera amputée par les obstacles. Pour cela il nous faut relever les masques à l'endroit où l'on désire profiter du potentiel solaire. Il faut aussi déterminer la hauteur angulaire et l'azimut de tous les obstacles, une fois reportés sur un diagramme cylindrique ou stéréographique (Fig.I.9) représentant la projection de la course du soleil annuelle et la silhouette des bâtiments voisins du site, on repère facilement les périodes où l'ensoleillement est disponible et on peut calculer les facteurs de réduction des gains solaires ainsi permettront de déterminer les heures du lever et du coucher du soleil en fonction de la saison. (*UCL, 2016*)

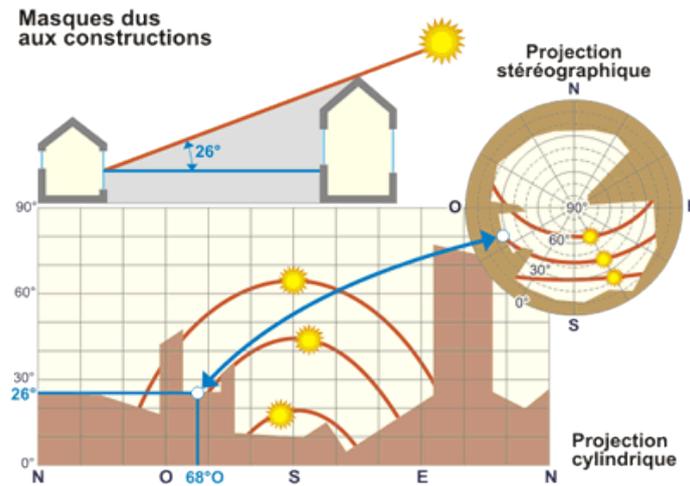


Figure I.9: Masques dus aux constructions représentées sur deux types de diagrammes (cylindrique et stéréographique). Source: A.Liébard, A.De Herde, 2005 ; p73.

4. LE GISEMENT SOLAIRE

Selon le dictionnaire Larousse le gisement est un nom masculin qui veut dire Lieu où un matériel géologique donné s'est accumulé et que l'on peut exploiter en totalité ou en partie : Un gisement d'or. Gisement pétrolier.

Dans le lexique des énergies-renouvelables le gisement est le lieu de concentration naturel de matières minérales solides, liquides ou gazeuses. (UCL, 2016).

On peut dire que le gisement solaire est le lieu de concentration du rayonnement solaire incident à un milieu urbain.

Selon A.Mefti et al (2002) :“ Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire le dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire”.

Le gisement solaire diffère selon la région, et dépend de plusieurs facteurs d'après A.Mefti et al (2002) la densité des stations pour lesquelles on a des données ; le nombre d'années de mesures disponibles ; le pas de temps des données (mois, jour, heure) ainsi que la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc.....

4.1. Les modèles du ciel

Beaucoup de facteurs influent sur la quantité de lumière reçue en un lieu ; de ce fait cette dernière est influencée par le niveau de pollution de l'air, mais aussi varie au cours du temps, selon la position du soleil, selon les conditions météorologiques et également la couverture nuageuse. (*Liébard, A. et De Herde, A., 2005*).

La position d'un élément de ciel considéré sur la voûte céleste est repérée par son angle zénithal, par son azimut ou par son altitude, et la position du soleil et de l'heure à laquelle sera effectué le calcul ; sont les paramètres à prendre en considération afin de caractériser un modèle de ciel. (*Miguet, 2000, Chain, 2004*).

Quatre types de ciels standards ont été établis par la commission internationale d'éclairage (CIE). Chacun d'eux est caractérisé par la manière selon laquelle la luminance se répartit dans la voûte céleste ; cette variation de la répartition fluctue en fonction de la latitude, de l'altitude, de la saison et de l'heure. (*Miguet, 2000, Chain, 2004*).

4.1.1. Les modèles de ciel

Liébard, A. et De Herde, A., (2005) ont classés les types de ciels par ordre de complexité comme suit :

4.1.1.1. Le ciel uniforme

C'est le modèle le plus simple ; c'est lorsque le ciel est couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère pleine de poussières ou le soleil n'est pas visible, sa luminance est indépendante des paramètres géométriques et elle est constante en tout point du ciel à un moment donné.

4.1.1.2. Le ciel couvert CIE

C'est un modèle établi par la Commission Internationale de l'éclairage (CIE) ; c'est lorsque le soleil est caché par un ciel de nuages clairs, sa luminance varie en fonction de la position de chaque point par rapport à la voûte céleste.

4.1.1.3. Le ciel clair (sans soleil)

Un ciel clair propage un rayonnement diffus de l'éclairement d'un ciel serein, dépend de la variation de la position du soleil, excluant le rayonnement solaire direct. Sa luminance varie en fonction des paramètres géométriques et de la position du soleil.

4.1.1.4. Le ciel clair (avec soleil)

Quand le soleil est visible ou brille, le ciel est dégagé ou ciel serein, le pourcentage des nuages ne dépasse pas 20%. C'est le plus compliqué d'entre eux car il prend en compte le rayonnement global ; alors que les trois modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse de rayonnement solaire ; il offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.



Figure I.10: Les différents modèles du ciel. Source : B. Paule, 2007.

4.1.2. Les modèles standards CIE

La Commission Internationale de l'Eclairage CIE, à l'encontre des autres modèles de ciels qui sont basés sur les mesures locales ; les modèles de CIE sont représentés théoriquement d'une norme ciel standard clair ou couvert et représente les valeurs de la luminance de ciel plutôt que d'éclairement. Le premier est un modèle de ciel standard clair proposé par **Kittler** (The clear sky : CIE 1973) ; et le second est un modèle de ciel couvert **Moon et Spencer** (The overcast sky : CIE 1955). (**Ronald.L ; Hulstrom ; 1989**).

4.1.2.1. Le modèle de ciel de Kittler

En 1967 **Richard Kittler** avait développé un modèle de ciel sur la base de quinze types de ciels proposés par la commission internationale de l'éclairage CIE, mais il a été adopté par la CIE qu'en 1973 ; ce modèle permet d'utiliser pour la caractérisation l'environnement lumineux extérieur des différents climats dans des localités arbitraires.

Le ciel clair a une distribution de la luminance qui dépend de la position du soleil dans le ciel et la distribution de la lumière dans l'atmosphère. Le modèle assure qu'aucune couverture nuageuse n'est visible sur la dôme de ciel entière. (**Ronald.L ; Hulstrom ; 1989**).

4.1.2.2. Le modèle de ciel de Spencer

Apparu dans les années quarante mais adopté par CIE en 1955, *Moon & Spencer* proposaient un modèle de ciel défini par la couverture nuageuse épaisse et uniformément répartie sur toute la voûte céleste qui diffuse entièrement le rayonnement direct ; un ciel qui est parfaitement couvert ; traduisant les conditions atmosphériques défavorables. (*Miguet, 2000*). Il représente un ciel avec une luminance au zénith trois fois plus élevée qu'à l'horizon.

4.1.3. Le modèle de ciel de Perez

Perez et al. (1987) proposaient un modèle de ciel largement utilisé pour calculer l'irradiation solaire sur une surface en tenant compte de la somme de l'irradiation diffuse et directe, selon la position du soleil, basée sur une interpolation des modèles spécifiques des ciels sans nuages, couvert et intermédiaire. Une deuxième position d'un modèle de ciel tout temps établie par *Perez et al. (1990, 1993)* ; catégorisant le ciel en huit types différents de clair à couvert en fonction des conditions de clarté de ciel et d'ensoleillement, et qui ne tiennent plus compte des modèles précédents. (*Chain, 2004*) ; à partir de deux coefficients ϵ et Δ , le premier sert à traduire le degré de pureté du ciel et le second la luminosité ou l'opacité par rapport aux nuages dans le ciel ; ce modèle peut simuler n'importe quel type de ciel. (*Miguet, 2000*). Il a été constaté que ce modèle a surperformé six autres modèles de ciel existants (*Perez et al. 1992*).

4.2. Le potentiel solaire en Algérie

Les débats sur l'environnement, et plus précisément le développement durable ; place les énergies renouvelables au centre des préoccupations à l'heure actuelle, comme une réponse et une solution durable à la crise énergétique, avec la hausse du prix du pétrole.

L'Algérie de par sa situation géographique, dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde ainsi que de tous les pays du bassin méditerranéen, qui lui a permis de se classer parmi les trois premiers pays du monde, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque ; cela a été affirmé suite à une évaluation par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (ASA). Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel.

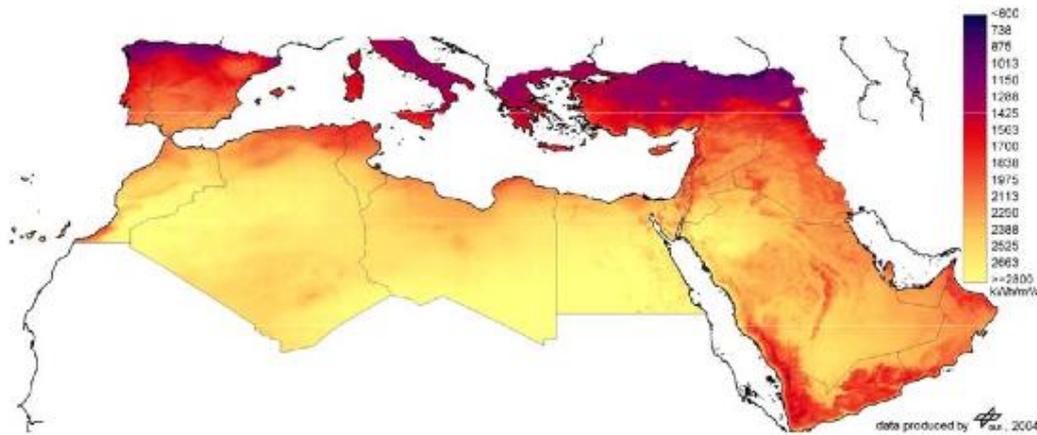


Figure I.11 : L'irradiation solaire directe annuelle des pays méditerranéen et la péninsule arabe en 2002. Source : DLR ; 2005. URL: [<http://www.bioalaune.com/fr/actualite-bio/12733/combien-faut-il-de-panneaux-solaires-alimenter-monde-en-electricite>]. (Consulté le 14/02/2016 à 12h00).

S. Bentouba et al (2010) décrivent le potentiel algérien en matière d'énergie renouvelable surtout solaire et éolien et leur intégration dans une vision de développement à travers plusieurs scénarios énergétiques mettant l'Algérie comme un noyau de production d'énergie renouvelable dont les études de la banque mondiale indique que l'Europe sera obligé dans les années à venir d'importer son énergie du grand Sahara ; d'où vient l'initiative allemande pour exporter l'énergie solaire du grand Sahara à l'Europe.

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau (I.1) selon l'ensoleillement reçu annuellement.

régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau I.1 : La répartition du potentiel solaire par région. Source : institut méditerranéen des énergies renouvelable, fiche pays : Algérie.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement, et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2650 KWh/m²/an au Sud du pays. (*A. Liébard, A. De Herde, 2005*).

Le gouvernement algérien s'est fixé des objectifs ambitieux de développement des énergies renouvelables à travers l'adoption du Programme national de développement des

énergies renouvelables (PNDR) en février 2011. Et de route sur 20 ans prévoit une couverture de 37 % des besoins en électricité du pays par l'énergie solaire thermique et photovoltaïque d'ici 2030.

4.3. Le gisement solaire dans les régions arides

Le Sahara algérien présente de véritables oasis d'énergie du fait d'un ensoleillement direct fort, c'est le pays le plus ensoleillé du monde en nombre de jour et quasi-permanent (3000-3500 heures d'ensoleillement par an contre 1500 h à Paris). (*Y.Mérabet, CDER, 2013*)

Les régions désertiques du grand Sahara, recevant jusqu'à 2900 kWh/m²/an de rayonnement direct fournissent largement la surface nécessaire à une production massive d'énergie renouvelable. Identiquement, un taux d'irradiation solaire effectué par satellites selon l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. (*M.L.LAMY;2004*)

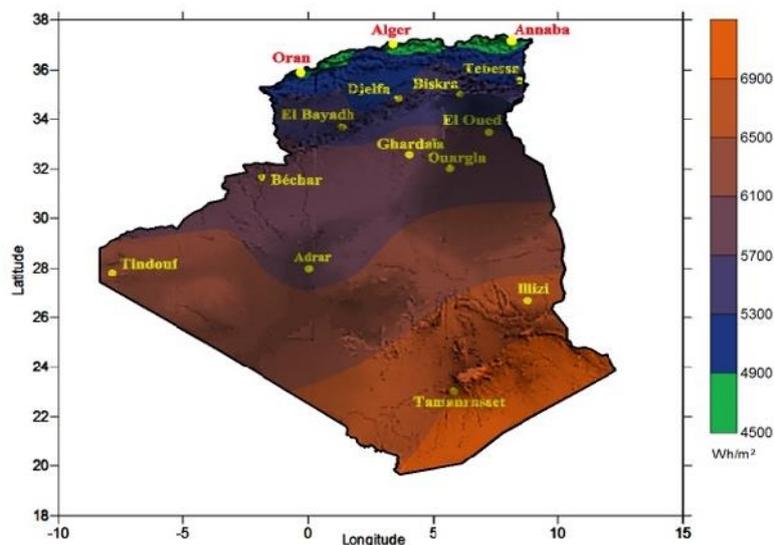


Figure I.12: Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur un plan horizontal (1992-2002). Source: CDER, 2013. URL [<http://portail.cder.dz/spip.php?article3354>]. (Consulté le 14/02/2016 à 11h30).

5. LE RAYONNEMENT SOLAIRE

5.1. Le Soleil

Le soleil est une étoile relativement de taille plus importante que celle de la terre, situé à 150 millions de km de la terre, soit 8 minutes-lumière, est un réacteur à fusion nucléaire qui fonctionne depuis 5 milliards d'années. (*INES*). La terre et son atmosphère reçoivent du soleil

en un peu plus d'une demi-heure l'équivalent de la consommation mondiale annuelle d'énergie, soit environ 100.000 TWh ou encore 8,7 Mds de tonnes équivalent pétrole en 2010⁶. A partir de 70 km d'altitude, le rayonnement solaire subit au cours de son trajet vers la surface terrestre des phénomènes de diffusion et d'absorption dus aux gaz, aérosols et nuages présents dans l'atmosphère⁷. De ce fait, c'est en moyenne moins de la moitié du rayonnement solaire qui parvient jusqu'à la surface du globe.

5.2. Le rayonnement solaire

Le soleil aborde l'atmosphère terrestre sous forme de rayonnements électromagnétiques dont une part constitue le rayonnement visible (*F.Miguet et B.Paule, 1981*).

Le rayonnement solaire en un lieu consiste en une composante directe et une composante diffuse. (*A.Liébard, A.De Herde, 2005*). Cette énergie radiative du soleil subit de profondes modifications en traversant l'atmosphère en raison de l'absorption et de la diffusion. Le rayonnement solaire atteint la couche supérieure de l'atmosphère à un taux moyen de 1367 Wm^{-2} . En Algérie par exemple, un mètre carré d'une surface horizontale de la terre reçoit annuellement entre 1700 kWh/m^2 au Nord et 2650 kWh/m^2 au Sud. (*F. Harouadi et Al, 2007*). Dans l'atmosphère, le rayonnement est modifié en intensité et en polarisation par diffusion sur les molécules d'air, les gouttelettes d'eau, les poussières et les autres particules d'aérosol, par absorption due aux absorbants atmosphériques, par absorption et réflexion à la surface de la terre.

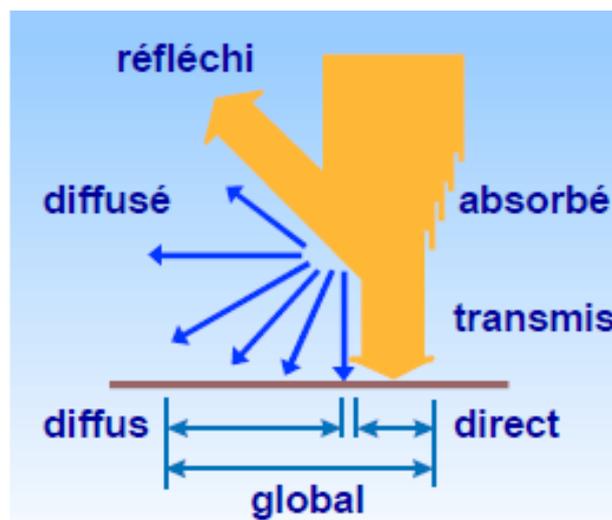


Figure I.13: Composantes du rayonnement solaire global. Source : A.Liébard, A.De Herde ; 2005, P52.

⁶ Key World Energy Statistics 2012, Agence Internationale de l'Énergie

⁷ N.B. La limite entre l'atmosphère terrestre et l'espace a été définie "arbitrairement" à l'altitude de 100 km par la Fédération Aéronautique Internationale (FAI).

5.2.1. Les composantes du rayonnement solaire

À la surface de la terre, on observe non seulement le *rayonnement solaire direct* mais aussi le *rayonnement diffus* par l'atmosphère, puis par les corps terrestres, sol, plantes, bâtiments, et autres. On distingue de ces deux rayonnements qui constituent le *rayonnement global* dont une partie est réfléchi par la surface et l'autre absorbée. Ce rayonnement absorbé réchauffe le sol et devient une source pour l'atmosphère. La somme de toutes les formes de rayonnement s'appelle *rayonnement net*. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, A.Ricaud, 2011).

5.2.1.1. Rayonnement directe

L'énergie directe provient exclusivement dans la direction d'éclairement du disque solaire tel qu'il est vu sans déviation géométrique, et donc durant les seules périodes d'ensoleillement. Par ailleurs les masses d'eau influent sur le rayonnement solaire par l'évaporation et formation de nuages, qui réduisent le rayonnement direct. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, A.Ricaud, 2011).

5.2.1.2. Rayonnement diffusé

L'énergie diffuse, est l'énergie diffusée par l'ensemble de l'hémisphère vue à tout moment du jour par la surface réceptrice, ciel bleu, nuage, sol ou autres corps à l'exception du disque solaire. À la différence du phénomène d'absorption qui convertit l'énergie perdue par absorption en énergie soit radiative, la diffusion a par contre pour effet de redistribuer l'énergie captée dans toutes les directions sans changement de longueur d'onde.

5.2.1.3. Rayonnement globale

L'énergie globale est l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale. C'est la somme des énergies directes et diffuses. Elle provient à tout moment du jour de l'ensemble de l'hémisphère apparent. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, A.Ricaud, 2011).

5.2.1.4. Rayonnement réfléchis

Le calcul du rayonnement solaire global fait conduire parfois à la composante réfléchi, soit en milieu rural (les plans d'eau) ou en milieu urbain par la réflexion du soleil par les bâtiments voisins. Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace. Le rayonnement incident global, est la somme de trois composantes quand le plan est incliné, dont la troisième composante est le rayonnement

réfléchis; qui est dû à l'albédo du milieu considéré. Cette composante est nulle sur un plan horizontal. (A.Liébard, A.De Herde, 2005, A.Ricaud, 2011, INES, 2007).

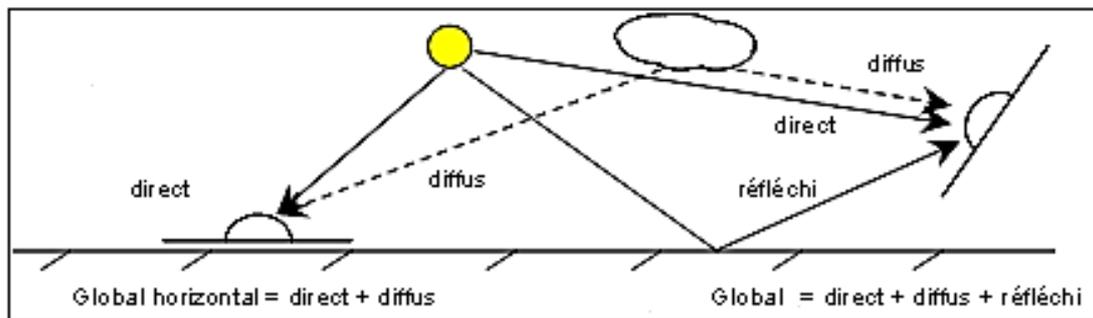


Figure I.144: Les composantes du rayonnement solaire. Source : INES ; 2007. URL : [\[http://ines.solaire.free.fr/solth/page4.html\]](http://ines.solaire.free.fr/solth/page4.html). (Consulté le 14/02/2016 à 18h30)

5.3. L'albédo

- Nom masculin originaire du latin “*albédo*”, qui veut dire blancheur. (*Dictionnaire Larousse*)

- Le rayonnement solaire incident n'est pas totalement absorbé par la surface de la terre, mais une partie de ce rayonnement est renvoyée (réflexion ou albédo) vers l'atmosphère et l'espace, en étant de nouveau diffusée et absorbée lors de sa traversée de l'atmosphère. (*L.Dufresne, et al, sans date*).

- C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle, rayonnement qui ne se reflète pas est absorbée par la surface. (*J A Coakley, 2003*)

- Selon *CNRS*⁸ L'albédo est une valeur physique qui permet de connaître la quantité de lumière solaire incidente réfléchi par une surface. Elle exprime la part de rayonnement solaire qui va être renvoyée par l'atmosphère et la surface terrestre vers l'espace.

C'est une grandeur sans dimension. Sa valeur s'exprime soit par un pourcentage entre 0% et 100%, qui est donc le pourcentage de lumière réfléchi par rapport à la quantité reçue, soit par un chiffre entre 0 et 1, qui est la fraction de la lumière réfléchi. *CNRS*.

Par définition, le corps noir possède un albédo nul absorbe l'intégralité du rayonnement solaire qu'elle reçoit. A l'inverse, une surface parfaitement blanche réfléchit toute la lumière et son albédo est de 100%. Des variations de l'albédo entre 0,15 et 0,30 peuvent être négligées. (*A.Ricaud, 2011*).

⁸ CNRS centre national de recherche scientifique.

L'influence de l'albédo du sol est notable, par ciel clair, dans le cas de surfaces réceptrices inclinées, et surtout verticales. La réflectance d'un toit, d'une rue, d'un champ, d'une paroi, etc... doit être déterminée et précisée dans chaque cas particulier.

La valeur de l'albédo est également sensible, surtout par ciel couvert, pour l'appréciation du rayonnement diffus du ciel. (*A.Ricaud, 2011*).

Par exemple, les océans ont un albédo compris entre 5 et 10%; le sable entre 25 et 40%; la glace environ 60%; la neige épaisse et fraîche jusqu'à 90%. Les continents, qui ont un albédo plus élevé que celui des océans, apparaissent plus clairs sur les photos satellites que les océans qui, eux, apparaissent noirs. Des changements dans la couverture nuageuse entraînent des modifications de l'albédo de la planète et de la transmission du rayonnement infrarouge, donc de l'effet de serre, ce qui contribue aussi à modifier les échanges de chaleur et d'eau sur la planète. *CNRS*

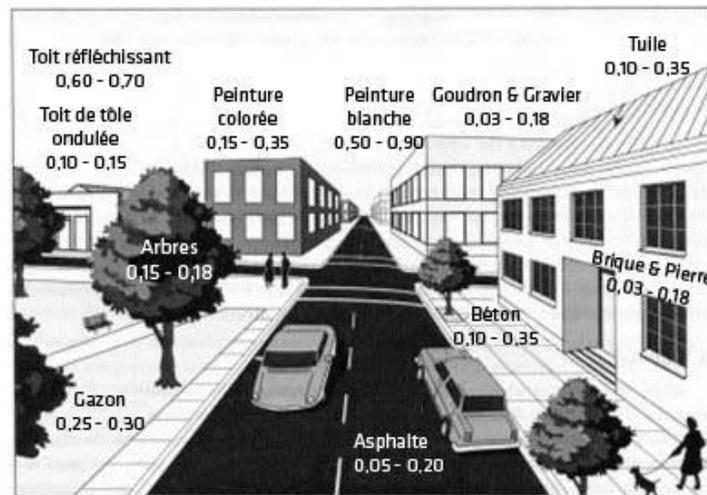


Figure I.15: Valeur de l'albédo de différentes surfaces. Source : NASA

6. LE SOLEIL SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

C'est une source d'énergie naturelle, gratuite et non polluante, grâce à ces multiples usages, l'énergie solaire tend à être l'une des ressources énergétiques majeures du 3ème millénaire, avec un gigantesque gisement solaire qui équivaut à 10 000 fois la consommation énergétique de l'humanité entière. Elle est l'énergie la plus abondante sur terre, et l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse, elle-même à l'origine des énergies fossiles. De ce fait l'ensemble de la vie sur terre dépend de cette source énergétique. Heureusement pour l'humanité, selon les astronomes, le soleil ne devrait pas s'éteindre avant 5 autres milliards d'années. (*A.Liébard, A.De Herde.2005*).

Au moins cinq bonnes raisons de l'utiliser, parmi lesquels la préservation des ressources non renouvelables, la diminution des polluons liés aux combustions et déchets nucléaires, réduire les émissions de gaz à effet de serre, valoriser une énergie locale et inépuisable, et même faire des économies, financiers.

Plusieurs manières d'en exploiter: en construisant un logement de manière à récupérer directement la lumière du soleil pour l'éclairer, et la chaleur pour la chauffer ; en utilisant des capteurs thermiques pour chauffer un bâtiment, un chauffe-eau ou même une piscine ; en récupérant la lumière du soleil pour la transformer en électricité grâce à des capteurs photovoltaïques ; enfin, en convertissant la chaleur du soleil en électricité via des centrales électriques solaires.

6.1. Le soleil source de lumière naturelle

Le soleil émet un rayonnement sous forme de lumière, et présente un spectre visible de forme continue ; d'où la lumière visible du rayonnement solaire représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil (*INES*). La lumière provenant directement du disque solaire possède une luminosité extrêmement élevée ou elle atteint une valeur de 60000 à 100000lux sur les surfaces perpendiculaires par rapport aux rayonnements incidents. (*F.Bouvier, 1988*)

Lorsque le rayonnement atteint des molécules ou des particules dont les dimensions sont semblables ou inférieures aux longueurs d'onde, il est réfracté et diffusé dans l'espace. La lumière est ainsi diffusée, ce qui provoque l'illumination, même en absence de lumière solaire directe. Les nuages renvoient aussi une part importante du rayonnement solaire vers l'espace, mais le reste atteint la surface de la terre sous une forme diffuse (*B. Givoni, 1978*).

La lumière naturelle du jour, par ciel clair et site dégagé, est exprimée par la somme des éclairagements (mesuré en lux) dus au ciel et au soleil (*Liébard, A. et De Herde, A., 2005*).

6.2. Aperçu historique sur le développement de l'énergie solaire à travers le temps

L'utilisation de l'énergie solaire est un fait très ancien, elle a été à l'origine de nombreuses idées de génie. Depuis l'antiquité les Grecs et les Romains utilisaient l'énergie solaire. Pour allumer la flamme des jeux olympiques, ils utilisaient une sorte de miroir parabolique primitif concentrant les rayons du soleil. En 1615 le Français *Salomon de Caus* construit une pompe solaire, utilisant l'air chauffé par le rayonnement solaire.

Le XVIIIème est le Siècle des Lumières ; voit renaître l'intérêt pour le Soleil et les premières études et expériences sur son énergie. En 1747, le botaniste *Georges-Louis de*

Buffon expérimente un miroir qui concentre la lumière du soleil en un seul point focal. Il arrive à faire fondre un morceau d'argent (la température de fusion de l'argent est de 1 044 °C).

À la fin du XVIII^e siècle Le célèbre chimiste français *Lavoisier* (1743-1794) invente un très puissant four solaire pour faire fondre des métaux sans que ceux-ci soient pollués par les produits des combustibles. Pour cela il utilise deux lentilles convergentes montées comme un télescope et dont les foyers sont alignés sur une droite parallèle aux rayons du soleil, sa température atteint 1 800 °C. Quant au suisse *Horace Bénédict* propose dans les années 1780 un instrument de mesure four solaire et étudie les effets calorifiques des rayons solaires qu'il nomme "hélio thermomètre" démontrant l'effet de serre obtenu par un vitrage placé au-dessus, il crée ainsi un capteur solaire thermique à basse température.

Le XIX^e siècle est marqué par la découverte de l'effet photovoltaïque et le perfectionnement des techniques d'exploitation du solaire thermique.

En 1839, le physicien *Alexandre Edmond Becquerel* découvre par hasard l'effet photovoltaïque. Une nouvelle voie de l'exploitation de l'énergie solaire s'ouvre alors, mais faudra attendre un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique. En 1875 le principe photovoltaïque décrit par l'industriel allemand *Werner von Siemens* devant l'Académie des Sciences de Berlin.

A l'aube du XX^e siècle, avec le développement des technologies les découvertes du siècle précédent ont connu une amélioration remarquable, comme celle de la production de l'électricité avec une cellule solaire par *Robert Millikan*. Le physicien anglais *Charles Vernon Boys* (1855; 1944) invente le 1^{er} capteur cylindro-parabolique, qui sert pour la première fois en Egypte, à Meadi, où on construit en 1912 une centrale thermique, permettant d'irriguer une grande surface de cultures.

Pendant l'année 1954, trois chercheurs américains (*Chapin, Pearson et Prince*) mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement (9 %) et les Laboratoires Bell construisent le premier panneau solaire mais il était hors de prix pour être produit en série. C'est la conquête spatiale qui fera réellement progresser l'énergie solaire ; le panneau solaire est le seul moyen non-nucléaire d'alimenter des satellites en énergie, de plus l'énergie solaire est une source d'énergie constante pour les satellites en orbite. C'est en 1958 que le premier satellite fonctionnant à l'énergie photovoltaïque qu'a été lancé.

De nouvelles découvertes sont faites et dès 1970 le solaire connaît un vif regain d'intérêt. Les premières centrales solaires sont construites, et les premières applications individuelles apparaissent.

Suite au choc pétrolier des années 1970 donne un grand élan aux technologies solaires. Les panneaux solaires photovoltaïques commencent à être utilisés pour la première fois dans les maisons. En effet, en 1973, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université du Delaware et en 1983, la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

L'énergie solaire est en plein essor car on prévoit une pénurie de pétrole prochaine, on se préoccupe du réchauffement de la planète et les prix de l'énergie n'ont jamais été aussi hauts. L'énergie solaire devient une priorité pour de plus en plus de pays. Des centrales solaires sont en cours de construction dans le monde entier. Beaucoup d'encouragement dans l'objectif est de réduire l'empreinte écologique et les émissions des gaz à effets de serre et aussi alléger le coût et l'exploitation des énergies non renouvelables. Et dans ce cadre-là que le premier ministre indien propose un projet d'Alliance internationale pour l'énergie solaire ou ISA “ *International solar alliance* ” en 2015, dont cette alliance doit réunir les États disposant d'importantes ressources solaires afin de mieux coordonner le développement de leur exploitation (thermique et photovoltaïque via des actions de formation, de standardisation de matériels, de partage d'expériences, co-entreprises...).⁹

6.3. Les filières de l'énergie solaire

6.3.1. Le solaire passif

On parle d'utilisation passive de l'énergie solaire, lorsque le rayonnement solaire pénètre dans un bâtiment principalement par les vitrages, mais également par des éléments construits à cet effet, comme des murs stockeurs, des façades double-peau, des vérandas ou encore des atriums, c'est-à-dire basé sur la captation de la chaleur, des bâtiments dits “bioclimatiques”. Dans un bâtiment d'habitation bien conçu, dont la partie sud comprend 30 à 50% de surfaces vitrées, les gains solaires passifs peuvent couvrir plus du tiers, voir jusqu'à la moitié des besoins de chauffage, sans faire appel à aucun équipement mécanique ou électrique. Cette technique permet de faire diminuer la consommation des autres énergies et, parce qu'elle est totalement non polluante et renouvelable, est aujourd'hui défendue comme un des meilleurs moyens de faire diminuer les rejets en CO² provoqués par le chauffage des habitations. Elle nécessite de repenser la conception des habitations par la mise en place de matériaux appropriés. (A.Liébard, A.De Herde, 2005)(S.Roaf, et al, 2001) (David Funk, 2010).

⁹ URL: [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire]. (Consulté le 11/03/2016 à 20h30).

6.3.2. Le solaire actif

Une installation solaire est dite active lorsque l'énergie solaire est captée au moyen d'un dispositif technique, elle couvre double champ le chauffage des bâtiments et le chauffage de l'eau sanitaire. Lorsqu'on utilise le rayonnement solaire pour chauffer un fluide qui transporte ensuite la chaleur vers un utilisateur, on parle de chauffage solaire actif. Qu'il s'agisse de solaire thermique ou photovoltaïque, un principe demeure : la nécessité de bien orienter les capteurs, sachant que les possibilités d'orientation et d'inclinaison offrent suffisamment de liberté pour répondre à la plupart des contraintes architecturales et techniques. *(A.Liébard, A.De Herde, 2005)(S.Roaf, et al, 2001) (David Funk, 2010).*

6.3.2.1. Le solaire thermique

Le capteur solaire, dit thermique lorsqu'il transforme l'énergie solaire en chaleur. La première et plus répandue des utilisations de l'énergie solaire est sa transformation en énergie thermique. Avec une architecture appropriée, un bâtiment est capable de transformer cette énergie en énergie thermique. L'utilisation la plus connue actuellement est le chauffage solaire: l'eau pour les robinets ou les radiateurs est chauffée par des panneaux solaires. *(A.Liébard, A.De Herde, 2005)(S.Roaf, et al, 2001) (David Funk, 2010).*

6.3.2.2. Le solaire photovoltaïque(PV)

Le capteur solaire, est dit photovoltaïque, lorsqu'il transforme l'énergie solaire en électricité. Découvert il y a presque 200 ans, cette technologie utilise des cellules de silicium. Sous l'action des photons, ces cellules créent un déplacement d'électrons, qui n'est autre que le courant électrique. Cette énergie transformée, selon une loi physique, en électricité, on peut via des équipements adaptés, l'utiliser directement, éclairage, électroménager.... ou bien le stocker dans les batteries ou l'injecter dans le réseau. *(ENSISAR) (A.Liébard, A.De Herde, 2005)(S.Roaf, et al, 2001) (David Funk, 2010).*

6.4. L'intégration au bâtiment

En milieu urbain, le foncier est majoritairement construit. Les surfaces disponibles pour l'implantation de systèmes solaires sont donc les toitures des bâtiments, qui présentent l'avantage d'une exposition solaire généralement plus favorable qu'au sol. Les bâtiments des quartiers urbains denses présentent dans la plupart des cas des toitures terrasses, pour lesquelles quelques précautions de mise en œuvre de ces systèmes doivent être prises.

Par intégration, on entend le fait d'avoir fait entrer dans la construction un élément extérieur qui est les capteurs solaires. L'intégration a pour but de minimiser l'impact visuel de cet élément rajouté postérieurement à la construction sans qu'il y ait d'impact sur l'équilibre du bâti et sur le paysage, et nécessitent un soin particulier à la réalisation ainsi qu'une réflexion préalable à la conception.

Elles peuvent être comme des éléments architecturaux à part entière. Tandis que sur des ouvrages déjà existants, il s'agit d'une adaptation, d'une incorporation des panneaux au bâti.

Plusieurs typologies d'implantation existent, liées ou non au bâti : garde-corps, allèges, brise-soleil ; en façade, mur rideau, décoration de vitrage (dessins de couleurs...), en verrière, en toiture intégrée ou en surimposition, en toiture de terrasse, d'appentis (les capteurs double fonction), au sol. Pour la meilleure orientation ; elles doivent répondre à l'obligation d'une exposition plein sud.

“Tout l'environnement construit peut potentiellement être solaire. Ce n'est pas utopique de dire que dans 100 ans, en 2113, il y aura du solaire partout.” Jean-Christophe Hadorn¹⁰ y croit dur comme fer. Avec les nouvelles techniques améliorant l'intégration du photovoltaïque et du thermique dans l'environnement urbain, signal fort, des tuiles photovoltaïques de couleur terre cuite et développées depuis trois ans par le laboratoire photovoltaïque à l'institut de microtechnique de Neuchâtel (IMTEPFL).

6.5. Définition des seuils pour chaque technique

Suite à des consultations avec des experts dans le domaine de l'installation de capteurs solaires, une série de seuils de l'incident d'irradiation annuelle sur les façades et les toits ont été identifiés, au-delà duquel une technologie donnée est susceptible de devenir économiquement viable pour ce type d'emplacement. En ce qui concerne l'énergie photovoltaïque (PV), les seuils de 800 et 1000 kWhm² ont été adoptés pour les façades verticales et les toits respectivement. Le chiffre le plus bas pour les façades reflète les avantages économiques de l'utilisation des panneaux photovoltaïques comme une forme de revêtement et aussi la facilité relative de l'intégration des services à cet endroit. Pour capteurs solaires thermiques les chiffres inférieurs de 400 et 600 kWhm² ont été adoptés pour les façades et les toits, respectivement, en raison du coût généralement réduit de ce type de collecteur. La raison de l'écart entre les façades et les toitures est similaire à celle de PV.

¹⁰ Ingénieur EPFL, spécialiste en énergétique du bâtiment et chef de projet en matière d'énergie solaire pour la Confédération

(*Compagnon.R, 2004*). Les toits sont toujours mieux exposés aux radiations solaires ce qui est justifié par leurs valeurs plus élevées.

6.6. Performance énergétique

La performance énergétique d'un bâtiment correspond à la quantité d'énergie consommée ou estimée dans le cadre d'une utilisation normale en égard à la qualité de son bâti, de ses équipements énergétiques et de son mode de fonctionnement. Elle inclut notamment l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement (éventuellement), la ventilation et l'éclairage. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique de votre habitat. (*A.Liébard, A.De Herde, 2005*)

Une bonne conception exploite le potentiel de gain solaire passif par la considération de la surface vitrée, de la masse thermique et de l'orientation. L'architecture solaire ou bioclimatique des années 70 est un bon exemple. Elle a apporté une nouvelle dimension aux implications énergétiques de l'ensoleillement dans la construction. Leur approche a conduit à redécouvrir certaines solutions traditionnelles visant à capter l'énergie solaire disponible en hiver tout en se protégeant des effets solaires d'été. Ils ont compris que l'énergie solaire permet de couvrir une partie importante des besoins même en tenant compte de ses propres limites (*D. Siret, 1997*). D'autre part, un rayon solaire est une source renouvelable gratuite pour les technologies solaires actives incluent les deux catégories de système de conversion de l'énergie solaire.

L'efficacité énergétique s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations, qui passe par la recherche de la moindre intensité énergétique, une "utilisation rationnelle de l'énergie". Cherchant à réduire les gaspillages et les consommations inutiles. C'est donc aussi un élément important de la performance environnementale¹¹.

¹¹URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique_%28%C3%A9conomie%29] (Consulté le 06/03/2016 à 10h30).

CONCLUSION

Un des grands enjeux de notre époque est d'assurer un cadre de vie agréable et propice au bien-être malgré la dépendance énergétique aux activités humaines tout en préservant les ressources épuisables,

Le soleil est considéré comme une source énergétique alternative dont on se focalise dans cette étude. Il constitue une source d'énergie importante sur le globe terrestre et peut garantir grâce à son rayonnement autant d'énergie en une heure que la consommation mondiale d'électricité en une année. Bien entendu les ressources solaires sont plus importantes sous les climats chauds et arides comme le cas de notre étude. L'intégration de l'ensoleillement à l'échelle urbaine est un fait très ancien, qu'a connu une évolution à travers le temps. Ce dernier nécessite la bonne compréhension des phénomènes géométriques et énergétiques de l'ensoleillement global.

Nous avons abordé dans ce chapitre à travers cette analyse bibliographique le rôle important que joue l'ensoleillement à l'échelle urbaine ainsi que ces composantes, on a pu aussi comprendre que le flux incident du rayonnement solaire direct au niveau d'une enveloppe est fonction du mouvement terre-soleil : la position du soleil dans le ciel (de la latitude et de la déclinaison du soleil). Le rayonnement solaire est aussi dépendant des types des ciex. Afin de bien profiter de l'énergie solaire à l'échelle urbaine, il est nécessaire de connaître aussi à tout moment le rayonnement solaire effectivement reçu par l'enveloppe du bâtiment.

Tous ces facteurs aident à bien l'intégrer dans la planification urbaine et de la demande des besoins en énergie, ainsi que l'utiliser de manière plus efficace et développer de nouvelles solutions à impact environnemental faible. Dans le chapitre suivant on aborde la notion de la configuration urbaine dans ses différentes dimensions.

LA DENSITE URBAINE

LA DENSITE URBAINE

INTRODUCTION

Dans la conscience collective, l'idée de densité n'a pas très bonne presse, souvent associée à des images négatives de promiscuité, de concentration, de surpeuplement ou de verticalité. Avant le 20e siècle, la densité des villes était un simple phénomène résultant de circonstances complexes. Au cours de la seconde moitié du 19ème siècle, les fortes densités dans les villes industrielles ont été plaidées pour être l'une des principales causes d'incendies, de maladies et de troubles sociaux ; cela a conduit à présenter la densité comme un outil d'analyse et de diagnostic des maux des villes en croissance rapide et souvent surpeuplées.

Dans une période d'intervention accrue de l'Etat suivant, l'utilisation du concept s'est étendue dans un instrument utilisé afin de prescrire des recommandations de densités maximales pour garantir de bonnes qualités physiologiques et sociales des milieux urbains (tels que l'air, la lumière et la vie privée). Ainsi la densité urbaine est passée d'un simple fait du développement de la ville à un outil d'analyse de problèmes; et, plus tard, à un instrument appliqué pour offrir des solutions améliorées. (*IAURIF, 2005*).

Au-delà d'un simple concept, la densité est aujourd'hui un débat ouvert en termes de rentabilité urbaine, de qualité de vie, de forme de ville.... il semble qu'il est nécessaire d'avoir une connaissance plus complète de ce qui constitue la forme urbaine.

1. LA MORPHOLOGIE URBAINE

L'étude de la morphologie des villes est considérée comme la principale réflexion pour aboutir à un développement urbain durable, bien que la ville n'ait pas une forme unique, elle se définit par sa densité urbaine. Cette dernière influe sur la gestion et l'utilisation des ressources et des énergies.

Selon le dictionnaire de l'environnement ; la morphologie est l'étude de la configuration et de la structure externe d'un organe ou d'un être vivant.¹

Le *CERTU*² définit la morphologie urbaine comme étant le résultat des conditions historiques, politiques, culturelles et plus particulièrement architecturales dans lesquelles la ville a été créée et s'est agrandie. Elle est le fruit d'une évolution spontanée ou planifiée par la volonté des pouvoirs publics.

Lévy (2005) considère que l'objet principal de la morphologie est de permettre la lecture de la ville en comprenant l'évolution de la forme urbaine. Cette dernière constitue un objet d'étude construit à partir d'une hypothèse, de définition, d'une représentation et d'un point de vue sur la forme.

Tandis que pour *Meta Berghäuser Pont & Per Haupt(2005)* la morphologie signifie la connaissance de la forme, donc la connaissance de la forme urbaine.

C'est aussi l'association de la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments, de son étalement et de la volumétrie des espaces extérieurs qu'ils créent (*Nikolopoulou, 2004*).

2. LA FORME URBAINE

Le tissu de la ville est une composition de différentes formes urbaines, chacune d'entre elles traduit une époque donnée, passant par des mutations à travers le temps. Chaque grande période politique ou une idéologie urbaine a produit des formes urbaines, mais qui sont typologiquement différentes.

¹URL : [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/morphologie.php4] (Consulté le 05/01/2016 à 20h20)

² Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques.

Pour (*Muratori1959, Aymonino et al .1970*) la forme urbaine décrit l'évolution des structures physiques de la ville et précisément son cadre bâti. Elle renvoie au mode de construction de l'espace urbanisé, la forme est entendue comme objet matériel. Tandis que *Lavendan* l'appréhende sous l'angle des tracés urbains c'est à dire comme un réseau, et donc toujours c'est l'occupation du sol.

D'un autre point de vue qui ne renvoie plus à des structures matérielles, elle est prise aussi comme forme sociale par la distribution de sa population et de ses fonctions.

Dans la *space syntax*, c'est une forme physique plus que spatiale, en dissociant l'espace de la forme bâtie tenant compte de l'espace le cœur de ces recherches.

Il en existe une définition plus fondamentale écartant les jugements de valeurs, elle est purement descriptive et renvoie à des modèles de ville type comme celui de la ville préindustrielle.

Anderson voit la forme urbaine comme la structure spatiale des activités humaines à un temps donné. Cette définition regroupe au même temps la forme comme structure physiques et forme sociale de la ville. Elle a également l'avantage d'éviter la lecture littérale de "forme urbaine" comme "forme de la ville", qui nécessiterait de définir au préalable le concept de ville, et renvoie immédiatement à la question des limites de la ville, épineuse dans le contexte de l'étalement urbain et de l'apparition d'espaces multipolaires. La forme urbaine résulte de l'interaction entre morphologie (cadre bâti et réseaux) et d'occupation du sol. La densité est aussi un des indicateurs clés de la forme urbaine. (*Bonin O. Tomasoni*).

D'un autre coté *Lévy (2005)*, trouve que la forme urbaine est une notion polymorphe qui peut être appréhendé de différentes façons selon le point de vue pris par l'urbaniste et la définition adoptée. Cinq approches de la forme urbaine sont identifiées par *Lévy (2005)* à partir des différents points de vue, entre autre :

- L'approche de la forme urbaine comme *forme des paysages urbains*.
- L'approche de la forme urbaine comme *forme sociale*.
- L'approche de la forme urbaine comme *forme des tissus urbains* (les éléments composant l'espace urbain).

- L'approche de la forme urbaine comme *forme des tracés* (renvoie à la forme géométrique).
- L'approche de la forme urbaine comme *forme bioclimatique* (la dimension environnementale).

La notion de **forme urbaine** selon *Athamena.K, (2012)* n'est pas toujours claire et les définitions varient souvent d'un auteur à un autre.

La forme urbaine peut être définie comme le rapport entre le bâti et les espaces libres à l'intérieur d'une agglomération ou de différents types d'ensembles urbains (quartier, rue, avenue, place), selon des articulations et des dispositions spécifiques aux contextes sociaux, historiques, politiques, géographiques, etc. (*Lefebvre.M, 2014*).

3. LA NOTION DE CONFIGURATION URBAINE

Selon le dictionnaire Larousse configuration veut dire :

- La forme extérieure d'un ensemble ; relief (ex: La configuration d'un pays) ; ou encore l'aspect général de quelque chose d'abstrait, caractère d'ensemble, physionomie : Son nom a une configuration germanique.
- Relief est le synonyme de conformation c'est-à-dire la manière dont sont assemblées les parties du corps, d'un organe, dans notre cas c'est la manière dont les bâtiments sont assemblés dans un quartier ou dans une ville.
- C'est aussi la manière dont évoluent les choses, les événements ; on peut dire que c'est la manière de l'évolution de la ville à travers le temps.
- Aspect, apparence sous lesquels se présente ou est présenté quelque chose ; donc c'est l'aspect ou l'apparence sous lesquels sont présentés les différents tissus urbains composant la ville.

Selon *Philipp Rode et al(2014)* la configuration de construction est l'arrangement de la hauteur, le volume, la forme de l'empreinte et la taille des bâtiments individuels et de leur relation l'une à l'autre : "*Building configuration is the arrangement of height, volume, footprint shape and size of individual buildings and their relationship to each other*".

Donc nous pouvons définir la configuration urbaine comme étant l'agencement, l'apparence des constructions ; de leurs volumes ; hauteurs ; ainsi que les empreintes prises du sol ; leurs évolutions ; et de leurs relations.

3.1. Types de configurations urbaines génériques

Le tissu urbain d'une ville est généralement un amalgame varié de différentes typologies.

Ces variations sont observées d'une part dans l'organisation du bâti et la forme des parcelles et d'autre part dans les configurations urbaines et leur mode d'aménagement.

Ces typologies ont été subdivisées en trois configurations génériques élémentaires selon leurs caractéristiques morphologiques, mode d'aménagement, ainsi que leurs compacités, dans ce qui suit une description morphologique et historique détaillée des formes urbaines les plus représentatives des villes.

3.1.1. Les configurations compactes

Selon *Panerai et al., (1997)* "*l'îlot traditionnel se présente sous la forme d'un quadrilatère. Il est lié directement à la rue*". Caractérisent généralement les anciens centres villes ; qui sont souvent très denses et se présentent comme une concentration importante de bâtis de façon dense et compacte, d'une morphologie quadrillée, de rues rectilignes, composées de petites parcelles, des bâtiments alignés, où la façade de la rue principale bordée de commerce et diverse fonctions, à l'intérieur se trouve les fonctions secondaires essentielles à la vie communautaire ce qui favorise la mixité sociale et fonctionnelle, et par la variété de la population. Les façades principales sont traitées différemment (ornementées) des façades intérieures. La morphologie de cette configuration génère son confort : elle empêche la pénétration des rayons solaires d'atteindre les espaces urbains intérieurs qui en résultent des zones ombragées favorisées dans les périodes chaudes.

3.1.2. Les configurations pavillonnaires

Situées généralement à la périphérie de la ville, Elles sont beaucoup moins denses; caractérisées par une organisation éparpillée autrement dit détachée. Implantées sur des grandes parcelles où l'espace libre est consacré aux jardins. Deux modèles pouvant illustrer cette configuration comme les cités jardins et les lotissements, composés de parcelles de surfaces importantes et les constructions ne sont pas accolés les unes aux autres, de faibles

hauteurs (souvent en R+1). Dans ce type de quartier, les espaces végétalisés occupent une grande partie du périmètre avec des rues plus larges qui sont d'après *Panerai et al., (1997)*, dans ces nouveaux espaces, la rue, élément fédérateur d'organisation dans les formes compactes, est transformée en un espace de desserte qui ne joue plus son rôle d'échange entre les populations et de mixité fonctionnelle. Tandis que, les commerces et les fonctions de services ont été regroupés dans des zones loin des habitations.

3.1.3. Les configurations verticales et répétitives

Après la seconde guerre mondiale un nouveau type d'habitat est apparu afin de répondre à la crise du logement engendrant la naissance d'une nouvelle configuration urbaine élançée sous forme de barres avec un plan type répété. D'une morphologie éclatée s'étalant verticalement en forme de tours et aussi horizontalement en forme de barres de grandes hauteurs. Cette configuration engendre de vastes espaces extérieurs où la relation à la rue a été exclue et la continuité avec la ville a été supprimée. Ils sont implantés en fonction de l'orientation solaire, par leur faible densité. Elles fournissent d'importantes surfaces exposées aux fluctuations climatiques (rayonnement solaire ; vent..).

3.2. Développement des configurations urbaines en Algérie

Les villes sahariennes sont nées de la fonction de relais sur les grands axes caravaniers d'autrefois; elles ont pris la forme d'un habitat groupé (Ksar) lié à la présence d'une palmeraie (cultures stratifiées ; palmiers, arbres fruitiers, légumes), et un mode de distribution de l'eau (selon un typage hydraulique singulier: Foggaras, seguias).

Le Ksar, par l'enchevêtrement de ses maisons, est une entité urbaine qui exprime une volonté de communication, et de solidarité avec l'ensemble des membres de la communauté.

Il est généralement situé sur un site imprenable, assurant le maximum de sécurité, entouré de remparts bastionnés, et possédant ses propres magasins de réserves alimentaires, et des puits collectifs protégés, et ne disposant dans la plupart des cas, que d'une seule entrée fortifiée, et coudée.

3.2.1. L'époque précoloniale, une ville compacte et un habitat traditionnel

Le Ksar se caractérise par sa forme urbaine traditionnelle compacte, de couleur terre horizontale, directement en relation avec un espace vert, la palmeraie, son installation dépend directement de la disponibilité des ressources en eau, condition qui assure la culture du palmier, et la création de vastes jardins fonctionnent tels des microclimats, indispensables à l'installation humaine (Ksar, palmeraie) se présente tel un système qui permet à la population d'occuper le territoire. (Amina Zine ,1994)

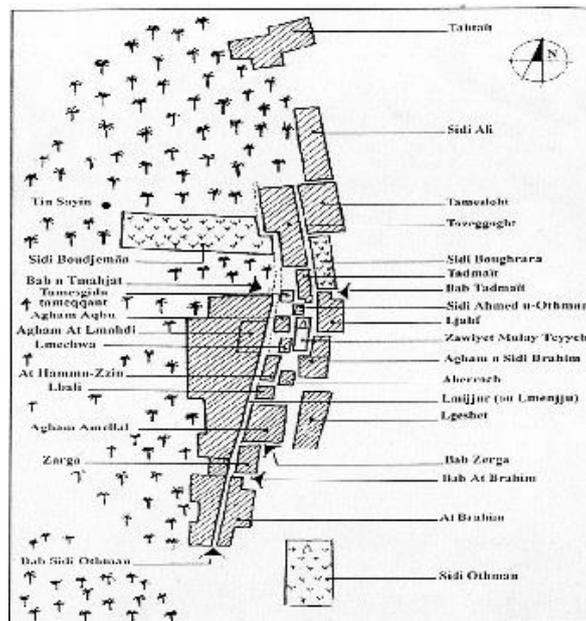


Figure II.1 : Le Ksar de Timimoun exprime bien la relation palmeraie-Ksar, un système qui permet à la population d'occuper tout le territoire. Source : Cote Marc ,2009.

Plusieurs chercheurs soulignent que les villes traditionnelles dans les zones arides, et semi arides se distinguent par leur centralité, et leur compacité (Pagon .B, 1992), mais aussi par leur insertion parfaite dans leurs sites, nées dans des conditions spécifiques, distinguées par leur architecture vernaculaire populaire ; elles sont un héritage non reproductibles.

3.2.2. L'époque coloniale, une ville dédoublée et ségrégative

Dans cette époque les colons ont créé de nouveaux centres de peuplement, plus ou moins proches du Ksar imposant une distance spatiale, et sociale entre le centre traditionnel, et la "nouvelle ville". La rupture fut multiforme, en termes urbanistiques, l'habitat dense, et fortifié du ksar s'inscrivait en opposition aux espaces ouverts, rectilignes, et extravertis

coloniaux (plan en damier) (fig. II.2). En termes de centralité urbaine, les nouvelles fonctions urbaines militaires, administratives, et économiques accompagnèrent le développement des nouveaux centres coloniaux, et le *Ksar* pérennisa en partie sa centralité sociale, commerciale, et religieuse pour les “populations autochtones”. Ainsi, l’opposition entre deux modèles urbanistiques, la rupture était porteuse d’un nouveau modèle de société. Ce dernier remit en cause les solidarités collectives, et le communautarisme qui trouvaient leurs traductions spatiales dans l’architecture ksourienne, les pratiques sociales, et agricoles.

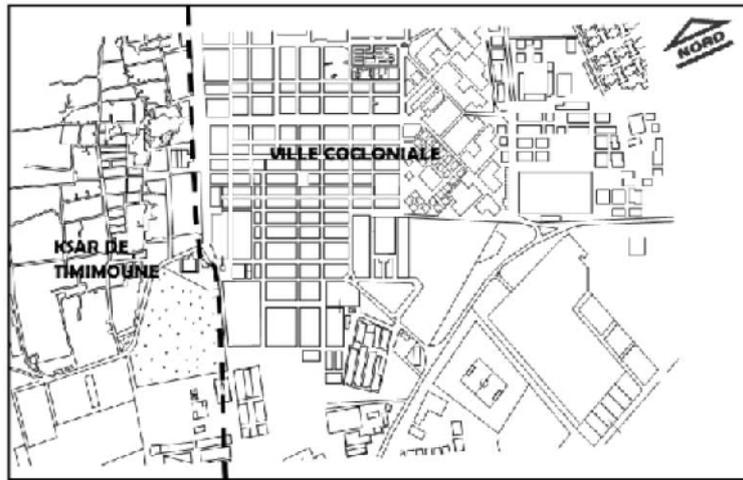


Figure II.2 : *Dédoublement du Ksar de Timimoune par la ville coloniale.* Source: O. N. S ; Oran.

3.2.3. L’époque post coloniale, une ville rapide et anarchique

La période post coloniale était marquée par une urbanisation accélérée et des modèles urbains identiques à ceux du Nord du pays sans se soucier de l’inadéquation avec les conditions du milieu saharien. “*Les extensions sont, souvent, réalisées en rupture complète avec les modes de constructions traditionnelles, dans les plans, dans les matériaux, et dans l’implantation. L’on a là, des villes du nord transportées dans le sud, ce qui ne va pas sans problèmes d’habitabilité.....*”. (M. Côte, 1996)

L’émergence de nouvelles configurations urbaines contemporaines planifiées variées entre lotissements peu denses ou habitats collectifs et grands ensembles lâches, d’une typification des plans entre le Nord, Sud, Est ou l’Ouest du pays sans prendre en considération les conditions de leur adaptation aux milieux dans lesquelles ils sont implantés.

Cet amalgame est le résultat, qui n'est que le produit de différentes sociétés, et civilisations qui se sont succédées à travers l'histoire de la fabrication urbaine.

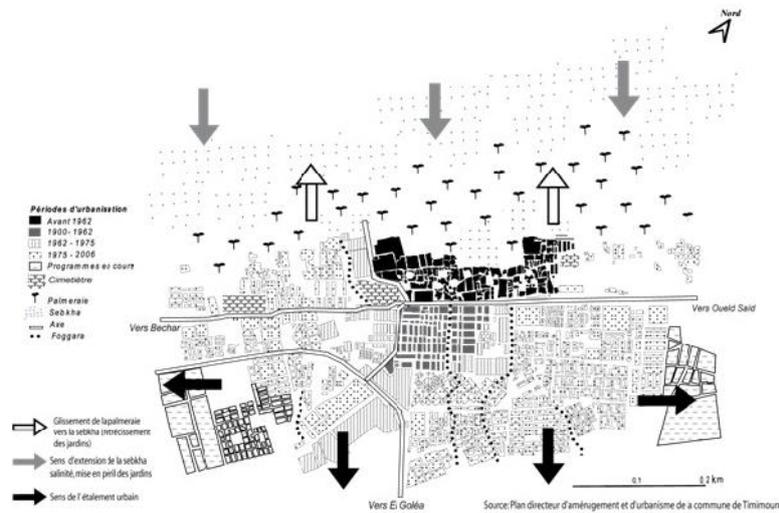


Figure II.3 : Le processus d'urbanisation de Timimoun. Source: *OTMANE. T et KOUZMINE.Y ; 2011.*

4. LA DENSITE URBAINE

4.1. Aperçu historique

L'analyse historique de la ville médiévale décrit un tissu urbain qui est fortement marqué par des voies étroites et sinueuses, contraintes quelquefois par les reliefs, auxquelles s'ajoute un réseau complexe de ruelles, "chemins communs" ou "traverses". Les grands axes restent rares et le réseau de voiries constitue l'élément essentiel du paysage urbain. La ville médiévale se structure selon un parcellaire très allongé. Elle est close par ses remparts présente l'image d'un centre urbain resserré et dense dans lequel toutes les fonctions cohabitent. La maison d'une hauteur moyenne de trois niveaux (R+2), où les commerces sont installés au rez-de-chaussée.

Au cours du XVIIe et du XVIIIe siècle, la silhouette de la ville se modifie. Les quartiers urbains centraux maintiennent leur structure médiévale, mais le parcellaire connaît peu de changements. L'alignement serré des maisons génère alors le remplissage des fonds de parcelles puis des surélévations d'immeubles. Les bâtiments s'élèvent au-delà de trois étages, avec une nouvelle répartition des occupants au profit d'un habitat devenu collectif. La mixité des fonctions reste présente dans la ville, les artisans s'installent dans les cours.

Les constructions mitoyennes se multiplient, les espaces verts, les jardins et les vergers diminuent. La population urbaine augmente progressivement et la ville déborde au-delà de ses limites générant des faubourgs le long des principales voies d'accès.

Du XVIII^e siècle à nos jours, les physionomies des cœurs de village n'ont pas beaucoup changé. Autour de l'église (ou la mosquée cas des villes musulmanes) et de la place, le cœur de bourg s'est étendu en préservant sa silhouette. La maison de ville longe les voies et ne fait guère plus de deux étages.

La ville du XIX^e siècle devient de plus en plus complexe, elle change radicalement d'échelle. Le noyau médiéval étouffe. Prenant l'exemple de Paris, les critiques hygiénistes aident le baron, Haussmann à rendre la ville plus aérée et lisible par la mise en œuvre de plusieurs réformes, entre autre le réseau viaire, étendit la ville vers la périphérie, prévoir un programme d'équipements et d'embellissement. Ainsi, les travaux d'assainissement, la destruction des îlots insalubres, la restauration des monuments, la création de parcs et jardins redessinent la ville. Les îlots bâtis, bien que très denses, retrouvent un nouvel équilibre avec l'espace public des rues.

L'amélioration des modes de transports accélère de nouvelles extensions, et depuis la fin du XIX^e siècle la ville se développe autour des petits bourgs. Ces extensions au détriment des parcs et des forêts. Une urbanisation peu dense où des maisons individuelles avec jardins, structurées autour d'un réseau de nouvelles voies. Avec l'apparition de la Charte d'Athènes, de nouvelles réglementations apparaissent, d'où les implantations des constructions qui se faisait sous forme de tours et de barres, en rupture avec les alignements existants et avec la trame des voies.

Au début du XX^e siècle, *Raymond Unwin* a affirmé que rien n'était à gagner à la surpopulation dans les villes; il a proposé une densité standard de 12 maisons maximum par acre net, ou 30 maisons par hectare (*Unwin 1909*). Cinquante ans plus tard, *Jane Jacobs* a averti que les bidonvilles américains n'étaient pas seulement une question de centres villes, mais aussi dans la basse densité, zones ternes sur les franges. Elle a suggéré que d'un minimum de 100 logements par acre net (250 logements par hectare) était une condition nécessaire pour une vie en ville vitale et participative (*Jacobs 1961*). Aujourd'hui, la forte densité et la ville compacte sont souvent considérées comme des conditions préalables à l'urbanisation durable et la croissance économique (*Salle 1999; Florida, 2002; Jenks 1996; Lozano 1990; Newman & Kenworth 1999; Urhahn 1996; van Kann & Leduc 2008*).

Le concept de densité dans l'urbanisme est souvent utilisé pour décrire la relation entre une zone donnée et le nombre de certaines entités dans ce domaine. Ces entités peuvent être des personnes, des logements, des services ou l'espace au sol.

Il est important de faire une distinction entre la densité urbaine utilisée pour décrire un environnement bâti (utilisation descriptive); et la densité urbaine utilisée comme une norme dans le processus de planification et de conception de la ville (prescriptive ou normative, utilisation). Avant le XXe siècle, la densité dans les villes était une simple résultante du processus complexe de développement de la ville. Les techniques de construction, les contraintes juridiques, les traditions, les exigences de rentabilité économique, etc, déterminent les densités résultantes possibles. Cependant, aucune utilisation consciente n'a été faite de la densité. Une question de fait ou un concept dans l'analyse et la planification urbaine, la densité sans doute n'existait pas avant la seconde moitié du 19^{ème} siècle. Pendant cette période, de fortes densités dans les villes industrielles ont été plaidées pour être l'une des principales causes des incendies, de maladies et de troubles sociaux. Fortement critiquée en Angleterre et en Allemagne, une prise de conscience du problème s'est développée par les législateurs et les urbanistes. Par conséquent, les contrôles de planification se sont développés par le biais des densités maximales prescrites (*Churchman 1999*).

Les discussions approfondies dans les années 1960 ont eu lieu sur la question de l'étalement urbain et ses effets négatifs sur la vivacité des villes, dans les transports et l'environnement. La critique n'était pas seulement dirigée vers les formes privatisées de l'étalement urbain (de faibles hauteurs) mais aussi contre la densité relativement faible, expansions de grandes hauteurs du mouvement moderne qui ont été construits après la Seconde Guerre mondiale. Les villes compactes ont été jugées par beaucoup comme la meilleure réponse pour contrer ces développements.

Au cours du siècle dernier, la densité a donc été utilisée à la fois pour décrire les maux de villes (comme trop dense il y a un siècle, et comme trop dispersée aujourd'hui) et, sur la base de ces diagnostics, comme une norme à prescrire des alternatives, parfois formulées en densités maximales, à d'autres moments que les densités minimales.

En dépit des avantages pratiques de la notion de densité urbaine dans la planification urbaine, les critiques ont fait valoir, surtout depuis la révolte dans les années 70 contre les méthodes quantitatives de la planification moderniste, que l'utilisation de la densité pour autre

chose que des fins statistiques est discutable, car elle est perçue comme un concept trop élastique qui reflète mal les propriétés spatiales d'une zone urbaine. Professionnels, ainsi que les chercheurs, s'entendent sur le fait que la densité mesurée et d'autres propriétés physiques (voir § 4.3.2, p 53) sont indépendantes les unes des autres.

4.2. La notion de densité

Il semble nécessaire de faire un point sur la définition de la densité. Par exemple en géographie urbaine la densité de population est une affaire de flux, en urbanisme, elle est le produit de faits et de situations physiques complexes dont la perception dépend du point de vue de l'observateur. En urbanisme elle est aussi, le rapport entre deux données mesurables (dans ce cas ce sera une unité de longueur, de surface ou de volume), on parlera alors le plus souvent d'habitants/km², d'emplois/ha ou encore de logements/ha. Nous allons présenter les indicateurs les plus utilisés dans le milieu professionnel urbanistique : Coefficient d'Occupation du Sols (COS), Coefficient d'Emprise au Sol (CES), Densité Bâtie(DB), densité de Population, densité Résidentielle, densité d'Emploi.... La liste n'est pas exhaustive car "*il existe presque autant d'indicateurs que d'acteurs ou d'usagers de l'espace*" (**Moulinié C. et Naudin-Adam M, 2005**). Dans ce contexte, on se réfère spécifiquement à la densité de l'espace urbain, à de nombreuses définitions et méthodes de mesure. Lorsque nous parlons de la densité, on peut la définir par le nombre de personnes vivant dans une région, la taille des bâtiments sur un site donné (Coefficient d'occupation des sols ou COS) ou combien de maisons qui sont dans une zone (densité d'habitation unitaire).

Le Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement propose la définition suivante: "*Rapport entre un indicateur statistique (population, logements, emploi, etc.) et une surface. On mesure en particulier la densité de population d'un îlot, d'un quartier, d'une ville, d'un pays, etc., par le nombre d'individus par unité de surface*".

Vincent Foucher (1995) trouve que la densité a souvent été liée à des notions connotées de façon négative: la surdensité, la concentration en contradiction avec l'étalement, la compacité relative à l'intensité, le surpeuplement relatif à la "densité interne" du logement, la densification, la surpopulation, la verticalité.

La densité urbaine peut aussi être définie de différentes manières, telles que le nombre d'habitants par unité de surface ou les niveaux d'activités. (**Strømman-et all, 2013**).

Pour bon nombre d'entre nous, elle est un ennui, un problème de la ville ; pourtant, ce n'est qu'une simple description d'un rapport entre nombre et espace, elle peut être dense comme elle peut être faible, mais pour être significative et pertinente, elle doit être rapportée à une échelle précise de références qui dépendent des besoins de l'étude. On peut donc distinguer plusieurs échelles de densité: la densité dans une unité de logement, la densité dans une parcelle autrement dit COS, celle par ilot, dans une commune ou dans une région, la densité nationale ou encore internationale.

Parler de la " *haute* " densité, souvent fait recours à certaines valeurs implicites, pour certain la haute densité signifie l'utilisation efficace des terres, par contre pour d'autre, elle signifie une autre image totalement différente: des rues animées, rues sales, la criminalité et la pauvreté...etc. Tandis que le terme densité " *faible* " peut faire apparaître des images de l'étalement, l'isolement et l'homogénéité insipide pour d'autres.

On peut dire qu'un même terme renvoie à des phénomènes différents, créant ainsi une certaine confusion. Dans ce contexte, le recours à d'autres terminologies est tentant.

4.3. Mesure de la densité

Dans le passé, un certain nombre d'indicateurs a été défini et utilisé pour mesurer la densité physique. Ces indicateurs prennent la forme de quotients dont le dénominateur est la superficie totale des terres où la densité est mesurée, alors que le numérateur peut prendre diverses formes: les maisons, les habitants, les chambres, la superficie totale de plancher disponible, la superficie totale construite disponible. *Angenot (1954) et Heimans (1965)*, deux chercheurs de l'Université de technologie de Delft, présentent des méthodes les plus acceptées qui sont d'une importance pour déterminer la densité. Leur rétrospective remonte à l'année 1912 lorsque *Unwin* a écrit d'une limite de densité supérieure de 12 maisons à acre (rien a gagné par la surpopulation). Deux décennies plus tard *Wright* a suggéré une densité idéale d'une maison par acre (*The Disappearing City*).

Dans un examen des mesures de densité, *Alexander (1993)* décrit que la densité mesurée doit être distinguée des notions telles que la densité physique et la densité perçue. (Voir §4.3.1, 4.3.2 ; p 52 et 53). Outre l'utilisation non critique de ces notions de densité, qui peut-être aussi à cause de ces notions, a conduit les chercheurs à faire valoir que l'utilisation de la densité pour autre chose que des fins statistiques est discutable, car c'est un concept trop

élastique qui reflète mal les caractéristiques spatiales d'une zone urbaine, ou, en d'autres termes, la forme urbaine.

Forsyth (2003) nous met en garde de ne pas confondre la densité avec le type de construction et d'assumer, par exemple, que les maisons individuelles ont une densité inférieure à celle des types de logements attachés : “...while this is generally true it is not always the case. A high-rise tower with large units set on a park-like site may have a lower density than a set of detached houses on small lots” (*Forsyth, 2003, p. 4*).

Il est important de réaliser que la densité peut être abordée de différentes manières, selon le cas et le but d'étude. En effet, il n'existe pas qu'une seule densité, mais **des densités**...La distinction est importante entre la densité physique et densité perçue (*Rapaport 1975*).

4.3.1. Densité perçue

La densité perçue intègre des facteurs cognitifs et socio-culturels individuels ; elle est donc subjective résulte d'une construction complexe élaborée à partir des différentes sources d'informations sensorielles, et réfère d'avantage la perception de l'environnement immédiat (*Rapaport, 1975*). L'origine des individus, la culture d'appartenance, certaines dispositions psychologiques et l'accoutumance aux milieux denses sont quelques exemples de facteurs pouvant influencer la perception de la densité réelle (*Bélanger, 2006*).

Lorsque le niveau de densité perçue est très élevé, certains individus peuvent tester une expérience négative de l'environnement et éprouver un sentiment d'entassement.

La notion de densité perçue permet donc aux professionnels de l'aménagement (urbanistes, architectes, paysagistes) d'influencer la perception des citoyens (résidents, travailleurs, utilisateurs, etc.) en jouant avec les formes, les dispositions, l'éclairage, les couleurs, l'insonorisation, etc.: “ Pour l'urbaniste, l'importance de la densité perçue réside dans le fait qu'un environnement physique peut être transformé et adapté en vue d'augmenter ou de réduire le niveau de la densité perçue” (*Jacobs, Appleyard ; 1987*)³.

C'est la prise en considération du point de vue subjectif liées à la perception des individus, au vécu des espaces, c'est-à-dire l'avis des citoyens et le leurs lien avec la densité contrairement à la densité physique. “ L'appréciation subjective d'un confort (...) dépend de la pratique du lieu autant que le lieu, sinon de la personne” (*Wiel, 2006*).

³ URL : [<https://urb3.wordpress.com/definition/>], (consulté le 14/03/2015 à 20h00).

La pratique de l'espace diffère d'une personne à une autre, selon le sexe l'âge et l'expérience vécue, donc les avis seront divers c'est pour cela certains urbanistes considèrent que la participation à la construction du cadre de vie est nécessaire, et a pour mission d'améliorer les conditions de vie, et le confort du citoyen.

Dans une étude effectuée commandée par l'observatoire français de la ville en 2007 et réalisé par la société *TNS-Sofres*, utilisant un sondage sur la perception de la densité et des formes d'habitats, où les grands ensembles sont vus comme des espaces très denses et l'habitat haussmannien peu dense alors que physiquement cela est complètement faux. (*Moulinié C. et Naudin-Adam M, 2005*).

Une perception individuelle de la densité peut différer complètement du point de vue technique. C'est-à-dire une personne (habitant, visiteur) évaluera et réagira différemment à la densité perçue, selon une série de facteurs individuels et socioculturels, citons un exemple: une personne timide d'une région rurale va réagir d'une manière spécifique à une rue du centre-ville animée; cette réaction peut être décrite comme un sentiment de "cohue", d'autre part, la réaction d'un habitant métropolitain à la même situation physique et sociale pourrait être décrite comme la joie de "urbanité".

4.3.2. Densité physique

Elle comprend, selon *Alexander(1993)*, l'aspect de la conception (par exemple de caractères des bâtiments et des niveaux d'éclairage) et les questions d'utilisation des terres (par exemple la présence de magasins, pubs).

De son côté l'atlas des densités montrent trois mesures différentes quantitatives de la densité: logements par hectare ou acre, personnes par hectare ou acre, et le ratio de surface de plancher. Bien que ces mesures communes de densité, sont souvent utilisés seuls, sans égard aux autres mesures.

Il est important de regarder les trois chiffres pour obtenir une représentation exacte de la densité⁴.

Les trois mesures les plus couramment utilisées de la densité et chacun décrit la densité d'une perspective différente. Chaque mesure se penche sur un aspect différent et seul de la densité, chaque mesure est utilisée pour planifier un ensemble spécifique de besoins. Bien que

⁴URL : [<http://densityatlas.org/measuring/metrics.shtml>], (consulté le 15/03/2015 à 09h00).

chaque mesure donne de bonnes informations sur un lieu, seuls, ils ne dressent pas un tableau complet de la densité d'un quartier.

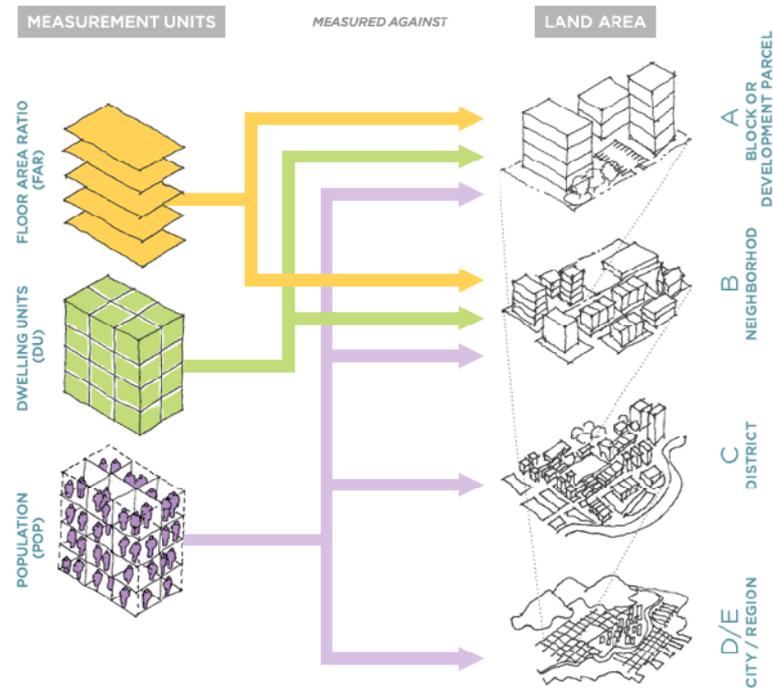


Figure II.4 : Représentation des différents types des densités. Source: URL : [<http://densityatlas.org/measuring/>] ; (Consulté le (03/03/2015 à 22h00).

4.4. Les indicateurs de la densité

Une meilleure compréhension de la densité d'un lieu ne vient pas seulement de l'information supplémentaire fournie par chacun des trois mesures, mais aussi grâce à un examen des trois mesures relatives à l'autre. Par exemple, deux domaines peuvent avoir le même nombre de logements, mais peuvent se sentir plus ou moins denses basés sur la relation de ces unités au nombre de personnes et les COS dans la région. Ces trois mesures de densité sont représentées dans figure (II.5) :

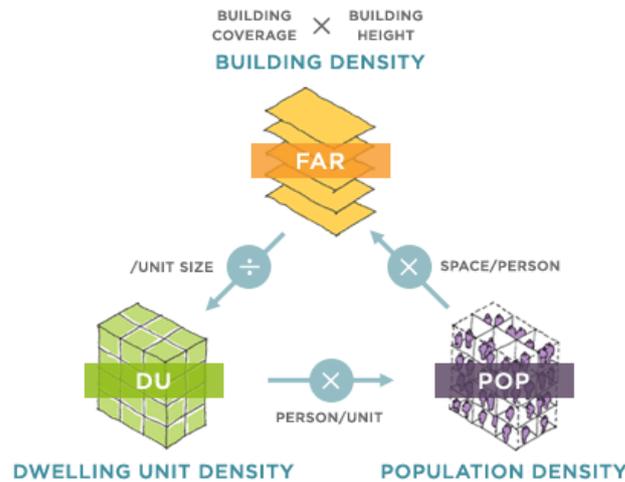


Figure II.5 : Représentation de la relation entre les densités

Source: URL : [<http://densityatlas.org/measuring/metrics.shtml>] ; (Consulté le 03/03/2015 à 21h30).

Il est important de faire la différence entre deux mesures. Le Coefficient d’Occupation des Sols (C.O.S.) expliqué plus haut et le Coefficient d’Emprise au Sol (C.E.S.) qui correspond “au rapport souhaité entre la superficie occupée par un bâtiment et celle du terrain entier (il s’exprime en pourcentage). La figure (II.6) démontre de manière imagée la distinction entre les deux mesures.

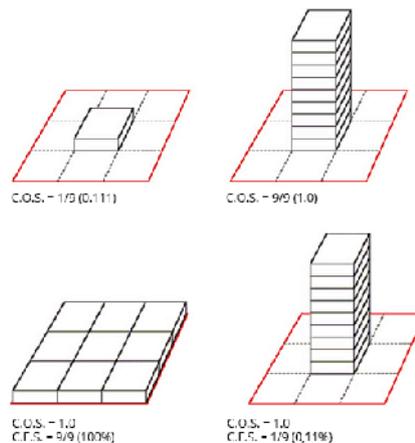


Figure II.6 : Représentation du CES et du COS. Source: URL : [<http://densityatlas.org/> adapté par URB3], (Consulté le 03/03/2015 à 23h30).

4.4.1. Le coefficient d’occupation du sol

Le Coefficient d’Occupation du Sol (COS) est l’outil réglementaire par excellence. C’est lui qui permet de définir un “droit à bâtir” sur une parcelle. Autrement dit, il représente les possibilités de construire sur une parcelle.

Le (COS) est calculé comme étant le rapport entre la surface de plancher et la surface au sol de la parcelle, de l'îlot ou du quartier. La limite de cette densité étant que le découpage utilisé reste essentiellement administratif.



Figure II.7: Illustration du COS. Source: URL : [\[http://www.caue76.org/SRU_UH/PLU/articles/articles_14.htm\]](http://www.caue76.org/SRU_UH/PLU/articles/articles_14.htm), (Consulté le 03/03/2015 à 21h50).

Il est rendue possible par le règlement d'urbanisme. Cependant, ce n'est pas un outil de maîtrise de la forme urbaine. Ce dernier renseigne juste sur la surface de plancher que l'on peut construire sur une parcelle donnée. En aucun cas, la morphologie ne rentre en jeu.

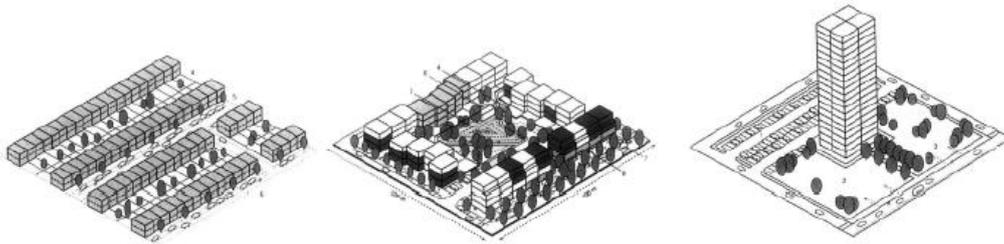


Figure II.8: Différentes formes urbaines pour un même COS. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, pp 17.

4.4.2. Le coefficient d'emprise au sol

Le Coefficient d'Emprise au Sol (CES) exprime la relation entre bâtis et non bâtis du site ou du terrain. Ici, l'idée est de contrôler la surface qu'a le droit de prendre le bâtiment vis-à-vis de la surface totale de la parcelle. C'est le rapport à la terre. Autrement dit, il représente le pourcentage de la terre sur laquelle il est construit.

Par conséquent, il n'est pas directement lié au nombre d'étages de l'immeuble. En fait, si les étages supérieurs sont contenus dans les limites du rez-de-chaussée, le nombre d'étages ne fera pas de différence. Si, toutefois, un ou plusieurs étages ont des éléments qui débordent, le CES sera changé, comme on peut le voir dans la figure (II.9).

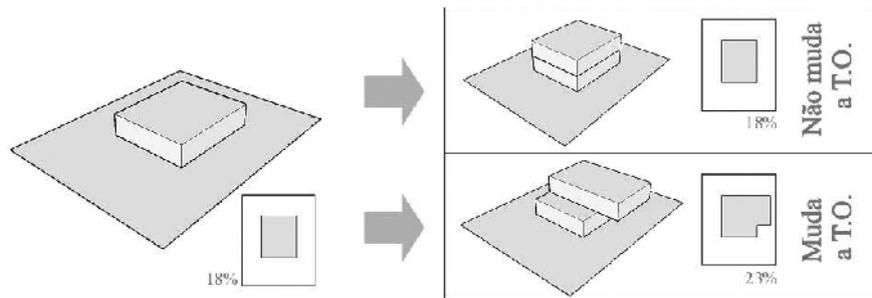


Figure II.9 : CES se diffère si y a des décrochements dans les plans des étages. Source: Renato Saboya, 2007
 URL [<http://urbanidades.arq.br/2007/12/taxa-de-ocupacao-e-coeficiente-de-aproveitamento/>] ; (Consulté le 05/03/2015 à 10h50).

4.4.3. Densité bâtie

Enfin, on peut parler de la densité bâtie qui est un indicateur plus complet parce qu'il prend en compte la distribution du bâtiment sur la surface (avec le CES) mais aussi dans l'espace volumétrique (avec la hauteur moyenne). Cet outil donne un renseignement plus proche de la perception d'un quartier, contrairement au COS qui est un indicateur sur ce qui peut être fait, la densité bâtie mesure ce qui existe déjà.

En résumé ; la densité bâtie est le rapport entre le coefficient d'emprise au sol (CES) ; c'est-à-dire le rapport entre l'emprise au sol totale des bâtiments et la surface de l'îlot sur lequel ils sont implantés ; multiplié par le nombre moyen de niveaux. La distinction entre la densité brute et la densité nette provient du choix de la surface de référence choisie.

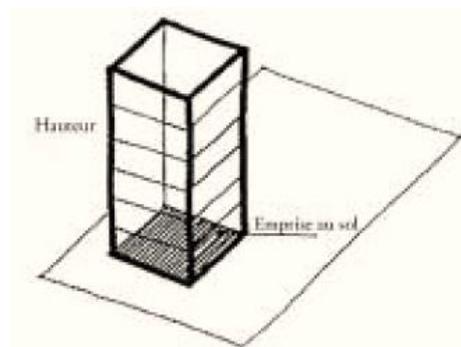


Figure II.10 : La densité bâtie : schéma représentatif de la densité bâtie. Source: IAURIF, 2005.

4.4.4. La densité nette

La densité nette ne prend en compte que les surfaces des parcelles réellement occupées par l'affectation donnée : emprise du bâti, espaces libres à l'intérieur de la parcelle ou de l'îlot, voies de desserte interne. Elle exclut la plupart du temps toutes les rues publiques.

“ Se mesure à l'échelle de la parcelle ou de l'îlot, si celui-ci est homogène. (...) C'est celle que la réglementation définit comme coefficient d'occupation des sols (rapport de la surface hors œuvre nette à la surface du terrain.) ” (IAURIF, 2005).

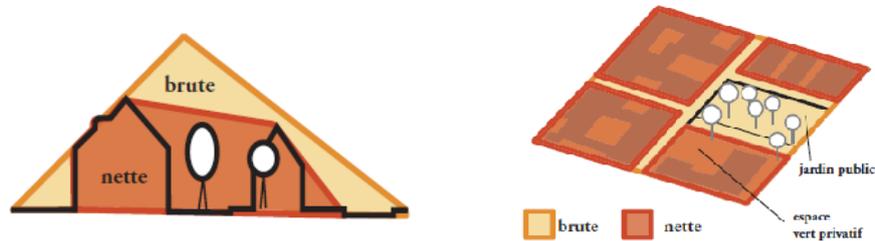


Figure II.11 : Représentation de la densité nette et brute. Source: IAURIF, 2005.

4.4.5. La densité brute

La densité brute prend en compte l'ensemble du territoire considéré sans exclusion : équipements collectifs (bâti ou non), espaces verts, voirie principale et infrastructures. Suivant le type de tissu urbain (largeur des voies, importance des espaces libres), la densité peut varier considérablement.

Même s'il est courant de distinguer entre densité nette et brute, la définition du net et brut varie d'un endroit à l'autre, et a été une source de grande ambiguïté.

4.4.6. La densité de population

Comme les transformations sociales sont généralement plus rapides que les transformations physiques, la densité de la population d'une région peut être changée à travers l'histoire, même si le nombre de logements est resté le même. Aux Pays-Bas, *Van Eesteren et Van Lohuizen (AUP 1934)* ont étudié la relation entre le type d'habitation et de la densité et sont arrivés à une densité qui permettrait l'utilisation des terres possibles en combinaison avec la construction d'autant de maisons unifamiliales que possible. Bien sûr, les différences dans le nombre d'habitants influencent les caractéristiques d'une zone comme l'utilisateur et l'intensité de la circulation, ou le potentiel pour différents programmes, etc.... (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

La densité de population peut être exprimée en termes de nombre de personnes ou de ménages dans une région, tout en demeurant mesures de la densité du nombre de logements dans une zone.

La densité de la population se fait à différentes échelles, à l'échelle communale elle permet de comprendre les phénomènes de croissance urbaine ainsi que la comparaison des villes de tailles différentes, et déterminer la concentration de la population sur un secteur déterminé et de mieux comprendre la répartition de la population au niveau infra-communal, la densité de la population permet aussi la précision de la répartition spatiale de la population dans un quartier. Le calcul de la densité de la population est utilisé pour planifier de nouvelles écoles, commerces, services publics et l'expansion de transit nécessaire pour une zone.

4.5. La compacité

- Nous parlons de la compacité selon le dictionnaire Larousse:
 1. Dont les parties sont étroitement serrées et ne se séparent que difficilement : Bois compact. Roche compacte.
 2. Dont les éléments sont très rapprochés les uns des autres ; dense.
 3. Qui forme bloc, ne se laisse pas entamer ; solide.
- En architecture, selon Wikipédia la compacité d'un bâtiment représente le rapport entre l'aire de son enveloppe et son volume.
- La compacité résulte de notions de géométrie utilisées pour maximiser le volume intérieur d'un contenant en fonction de sa forme. La notion de volume ou de masse du contenu correspond à des besoins alors que la forme du contenant ne résulte que de choix subjectifs, techniques ou économiques⁵.
- Obtenir une meilleure économie d'énergie suffit d'avoir essentiellement en 1^{er} lieu une bonne compacité du bâtiment mais également de la limitation simultanée de la diminution des surfaces des parois d'échange extérieures. La forme de bâtiment constitue l'élément essentiel de calcul de facteur de compacité.

⁵ URL : [<http://www.passivact.com/Infos/InfosConcepts/files/CompaciteBatiment-Consequences.html>]; (Consulté le 11/03/2015 à 15h30).

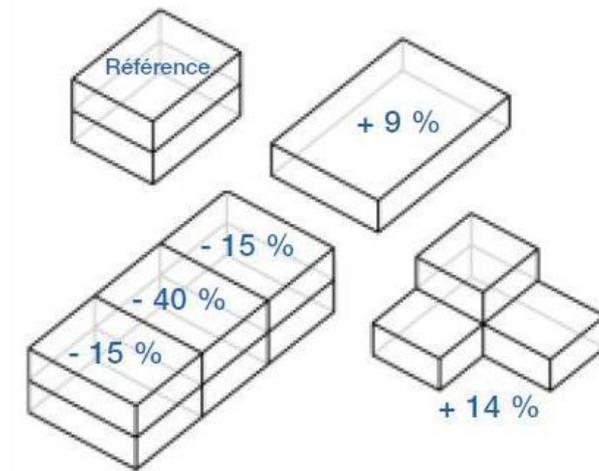
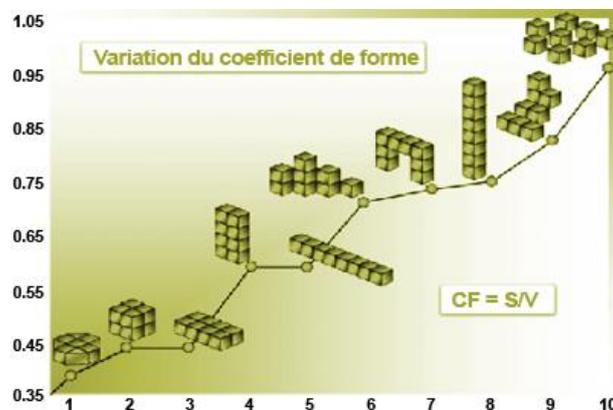


Figure II.12 : Exemple de déperditions comparées de l'enveloppe de différents logements de 96m^2 .
 Source: URL [<http://www.energivie.info/page/cle-1-batiments-compact-ouverts-au-soleil#compacite>] ;
 (Consulté le 20/03/2015 à 19h30).

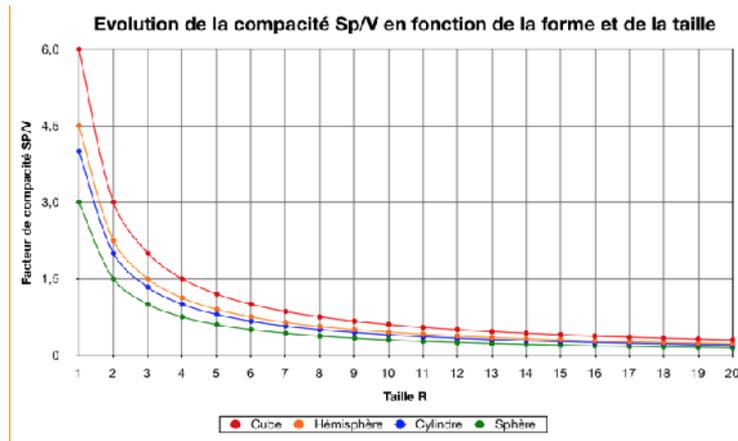
4.5.1. Le coefficient de la forme C_f

Le coefficient de forme (C_f) est le rapport entre la surface extérieure et le volume d'un bâtiment ($C_f = \text{m}^2 / \text{m}^3$) ; ce qui nous permet de comparer les formes différentes par rapport à un volume donné. Plus le facteur de compacité est plus faible plus la compacité est meilleure, ceci est bien exprimé dans le diagramme suivant :



Graphe II.1 : Variation du coefficient de forme. Source: URL [<http://www.auxanceboiscreation.com/la-maison-passive>] ; (Consulté le 20/03/2015 à 19h30).

La courbe suivante (II.2) de l'évolution du facteur de compacité S_p/V en fonction de la taille et de la forme, montre que la compacité d'un bâtiment dépend de sa forme (la sphère est idéale, le cube est une bonne solution). Aussi de la taille (pour une même forme, le facteur de compacité diminue).



Grphe II.2: L'évolution du facteur de compacité Sp/V en fonction de la taille. Source: URL [<http://www.passivact.com/Infos/InfosConcepts/files/CompaciteBatiment-Consequences.html>]; (Consulté le 20/03/2015 à 19h30).

4.6. Densité/ Intensité

Jean-Yves Chapuis considère que l'intensité urbaine n'est pas synonyme de densité urbaine. L'intensité est le lien entre la très grande échelle et l'échelle de la vie quotidienne, c'est la possibilité d'accéder le plus largement possible par les transports en commun à tous les services, en complément des services de la vie quotidienne que l'on doit trouver près de chez soi.

La densification doit être qualitative c'est à dire se faire au travers d'une gestion des intensités qui rend l'espace urbain à la pluralité des usages, c'est à dire produire des espaces comprenant toutes les fonctions urbaines nécessaires à une échelle d'aménagement et donnant dans un même geste la forme et une signification positive au cadre de vie.

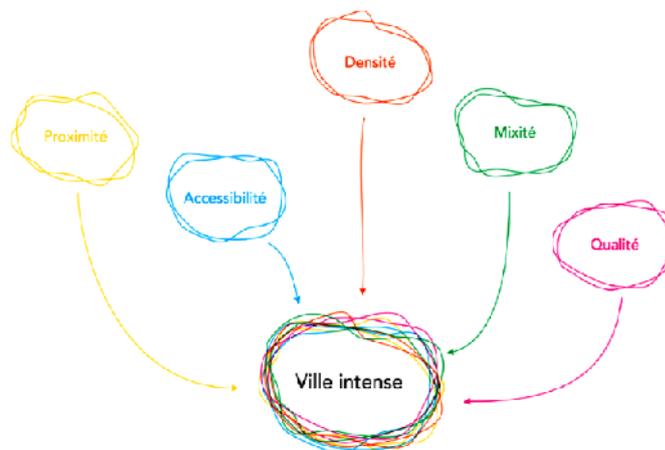


Schéma II.1 : Les ingrédients de la ville intense. Source : a'urba , Ville intense, ville intime , 2012.

Par contre *Da Cunha.A et al (2009)* considère que densifier c'est intensifier l'usage du sol. En effet, tout projet de densification est destiné à transformer la charge spatiale (population, emplois, surfaces de plancher, etc.) d'un périmètre soit par utilisation plus rationnelle ou par reconversion des surfaces existantes, soit par l'implantation de nouvelles constructions destinées à accueillir de nouveaux usagers. Ils trouvent que l'intensité est étroitement liée aux attributs conférant à l'espace urbain, qualité paysagère, qualité des accès aux bâtiments, d'usage des espaces publics, confort visuel, diversité des ambiances urbaines, etc., doivent être pensées afin d'ouvrir l'espace de vie à la diversité des pratiques habitants et de fournir une image globale des quartiers ou de la ville qui suscite des sentiments d'identité positive. La notion d'intensité peut servir comme un discriminant opératoire des modalités de densification et d'organisation d'un espace urbain durable, forcément ouvert à la diversité des demandes sociales, fluide, hybride et pluriel (schéma. II.2).

Intensifier la ville c'est l'aménager, la moduler, mettre en tension les différents registres du projet urbain durable (répartition des volumes, diversification des formes, renforcement des accessibilités, etc.).

L'intensité urbaine dépasse la simple notion de densité urbaine quantitative elle pourrait être décrite comme l'expression de la densité en termes de qualité ; intensification et densification en partie liées.

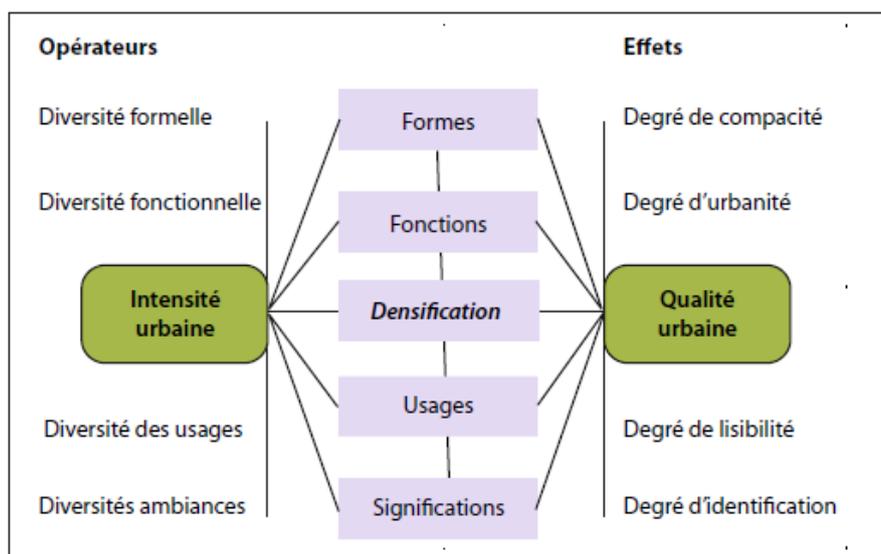


Schéma II.2: *L'intensité urbaine comme opérateur de densification qualifiée.* Source : *Les cahiers du développement urbain durable ; Densité, centralité et qualité urbaine; A.Da Cunha ; C.Kaiser ; p26 ; 2009.*

4.7. Densité / Formes

La densité est souvent assimilée à des formes urbaines imposantes comme les tours ou les grands ensembles, ainsi souvent, les gens confondent la densité avec le type de bâtiment et supposent, par exemple, que les maisons individuelles ont une densité inférieure à celle des types de logements attachés. Bien que cela soit généralement vrai qu'il n'est pas toujours le cas. Une tour de grande hauteur avec de grandes unités prévues sur un site aux allures de parc peut être de densité inférieure à un ensemble de maisons individuelles sur de petits lots (*Forsyth 2003*). Les configurations physiques différentes peuvent avoir des densités mesurées similaires.

En réalité, et comme le montre la figure (II.13) ci-dessous, densité et forme urbaine ne sont pas liées. On peut obtenir une même densité réelle avec une tour qu'avec un tissu de logements individuels. Un même COS peut donc correspondre à différentes formes urbaines. Ce qui est intéressant c'est la modularité des formes urbaines.

Un même COS peut produire des formes urbaines très différentes, selon la taille et la forme des parcelles. Par exemple, un COS de 1 peut produire des formes urbaines très contrastées : pour 100 m² de surface bâtie sur un terrain de 100 m², il peut y avoir un bâtiment d'un seul étage sur toute la surface du terrain, ou un bâtiment de deux étages sur la moitié du terrain, ou de quatre étages sur le quart du terrain, etc.

Un des problèmes de définition de la densité en termes opérationnels est la relation entre la densité relativement faible et le type de bâtiment. Aussi la même densité peut être obtenue avec les types de bâtiments radicalement différents et le même type peut être utilisé pour obtenir des densités différentes (*Lozano 1990*).

Mathieu Bélanger explique dans son mémoire: "Généralement, de façon incorrecte et plutôt folklorique, les mesures de densité sont associées à certaines typologies bâties. On dira qu'une tour d'habitation peut être caractérisée comme étant dense alors que le bungalow réfère quant à lui à une plus faible densité. Malgré ces appréhensions, la densité réelle peut être surprenante, tout dépendant de l'objet sur lequel s'effectue le calcul."

Donc on compare, les densités des quartiers dans la figure (II.13), on constate que pour une même densité de logement (mesurée ici en unités/ha), plusieurs implantations au sol sont

possibles. Ces différentes configurations du bâti influencent la perception de densité du lieu observé.

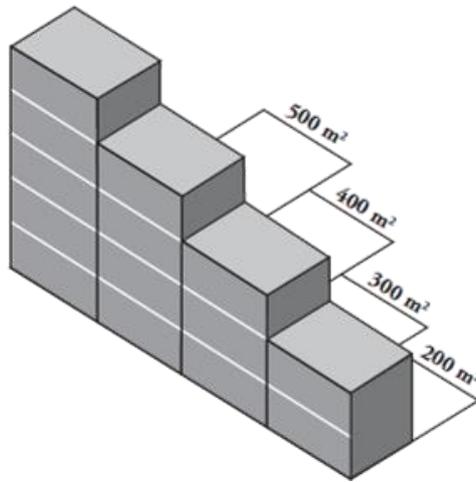


Figure II.13 : Représentation de la densité et le nombre d'étage. Source : IAURIF, 2005.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, à partir de la littérature, nous avons présenté les différentes définitions et les principaux critères caractérisant la densité urbaine qui sera le concept clé de notre travail.

Un état d'art s'est élaboré en premier lieu décomposant le concept de configuration urbaine en commençant par la notion de la morphologie urbaine; passant par celle de la forme urbaine jusqu'à la configuration, sujet de notre étude. L'utilisation de la densité urbaine habituellement repose sur un découpage administratif qui n'a aucun lien avec le rayonnement solaire. De ce fait cette analyse conceptuelle a permis la bonne compréhension du concept, ainsi elle nous aide par la suite à une bonne maîtrise de tous ses dispositifs liés au contrôle de l'ensoleillement au milieu urbain.

En second lieu un bref aperçu sur l'évolution de la densité urbaine des villes à travers le temps dans le monde et en Algérie. On a mené ensuite l'étude de l'évolution de l'utilisation de la notion de densité urbaine comme concept d'évaluation du développement des villes.

Et à la fin de ce chapitre on a défini une série d'indicateurs de performance urbaine qui vont servir cette étude. L'accent est porté sur ceux qui ont un impact sur l'ensoleillement. Ces indicateurs seront évalués sur terrain ou sur documents graphiques.

La densité urbaine reste un des indicateurs majeurs de l'étude des villes, d'où les urbanistes doivent s'intéresser plus à la durabilité urbaine de leurs villes on se focalisant plus sur le problème critique de la densité.

Nous définirons dans le chapitre ultérieur un outil basé sur la connaissance de la relation entre la densité physique et la forme urbaine, utilisé pour l'évaluation de densité urbaine en la présence de sa troisième dimension et par le biais de plusieurs variables dérivant la densité du lieu en question.

CHAPITRE III

LA DENSITE MULTI- VARIABLE

INTRODUCTION

Les définitions couramment utilisées pour définir le concept de la densité sont vagues, créant ainsi une confusion ; en plus de l'absence d'un moyen de mesure universel, malgré l'importance du concept de densité dans la conception et la planification urbaine. "Haut, moyen et faible" degrés de densité varient considérablement tant dans la façon dont ils sont mesurés, que dans le niveau de mesure, être "élevé" dans un contexte et "moyen" ou "faible" dans un autre.

En outre, les questions de santé et d'hygiène, qui ont conduit à l'introduction de la notion de densité dans l'urbanisme, ne sont pas seulement influencées par le nombre de personnes résidant dans une zone. Aussi pertinent demeure la taille, la hauteur du bâtiment et de la distance entre les bâtiments. La même chose peut être dite sur les indices de densité prenant chacun indépendamment. Tous sont, à un certain degré, informatif, mais aucun ne peut être utilisé sur leur propre pour décrire correctement les propriétés spatiales comme une étape vers la définition des types urbains avec l'utilisation de la densité. (*Berghäuser Pont et Haupt; 2009*). C'est à ce stade-là que nous nous interrogeons sur lesquels des indicateurs doit-on choisir pour mieux décrire la densité urbaine. Un seul choix serait-il possible et suffisant? Récemment et plus précisément depuis 2005 dans des études effectuées par le binôme (*Berghäuser PONT; Haupt*) ont cherché à formuler un ensemble de définitions claires de ces limites.

Le plus important, toutefois, c'est d'être cohérent lorsque l'on compare les différents domaines avec l'autre. Relatif à la discussion des limites est la question de l'échelle et les moyennes. Et qui ont prouvé que ces indicateurs utilisés et appliqués chacun seul ne transmettent que partiellement la notion de densité. La complexité des indicateurs pour décrire donc la densité serait plus pertinente.

1. LE PARADIGME DE LA VILLE COMPACTE

La forme des villes, entendue comme la forme de l'espace urbanisé et de la répartition de ses fonctions, a évolué au fil du temps en fonction des opportunités offertes par les moyens de transport mis à la disposition des citoyens grâce à l'innovation technologique et l'investissement économique. Ainsi la naissance de nouvelles activités telles que les centres commerciaux et de loisirs, l'envie d'avoir une habitation individuelle ...etc., ont conduit à l'émergence de la ville dispersée, par la suite l'apparition du phénomène de l'étalement et de la fragmentation urbaine comme une nouvelle forme de ville, contrairement aux villes médiévales compacte. La ville compacte renvoie à une forme compacte. Elle est pensée comme une ville close toujours plus dense.



Figure III.1: Exemple d'une ville compacte en Algérie : Ghardaia une vue d'en haut. Source: URL [<http://www.s2stravel-algerie.com/index.php?page=detail&destID=13>] (Consulté le 30/03/2015 à 10h00).

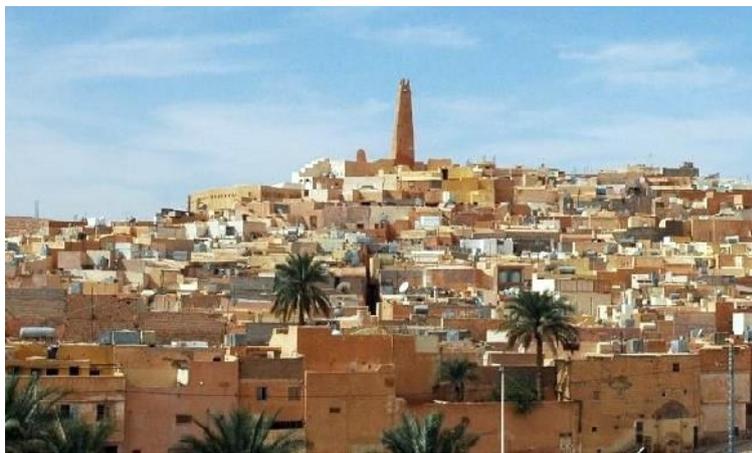


Figure III.2: Exemple d'une ville compacte en Algérie : Ghardaïa une vue de face. Source: URL : [<http://portail.cder.dz/spip.php?article3579>] ;(Consulté le 30/03/2015 à 10h30).

En architecture, la compacité renvoie directement à la notion de vide: la compacité d'un bâtiment est le rapport entre l'aire de son enveloppe et son volume. En mathématiques, les compacts sont les parties fermées bornées. Ainsi, une ville compacte est intuitivement une ville dans laquelle les vides sont remplis le plus possible, une ville fermée. On peut se demander si une ville compacte n'est pas aussi une ville sans silhouettes, sans vides, et sans rapport au ciel tant les bâtiments sont serrés. Une ville sans failles, sans entre-deux et, paradoxalement, sans épaisseur à force d'être sans mystères. C'est probablement la plus évidente des limites de la compacité, tendre vers un espace improbable construit "plein contre plein". En définitive, en urbanisme, la densité n'est peut-être pas synonyme de compacité. (*Sabri Bendimérad, 2008*).



Figure III.3: Carte des pleins et des vides, quartier de la place des Tilleuls. Source: URL [<http://cybergeog.revues.org/25044?lang=en>] ; (Consulté le 30/03/2015 à 10h10).

De même la compacité urbaine, loin de se limiter à une question de rationalité énergétique, recouvre une multiplicité d'enjeux. (*Cyria Emelianoff, 2001*).

En contrepartie l'étalement urbain c'est l'extension de la ville vers sa périphérie en consommant l'espace rural. Dans l'intention de limiter le phénomène de l'étalement urbain, les urbanistes insistent sur la nécessité d'encourager et le retour vers la ville compacte.

Les notions d'étalement urbain et celle de compacité sont des notions difficiles à les définir puisque elles renvoient à des notions plus floues celle de la forme urbaine.

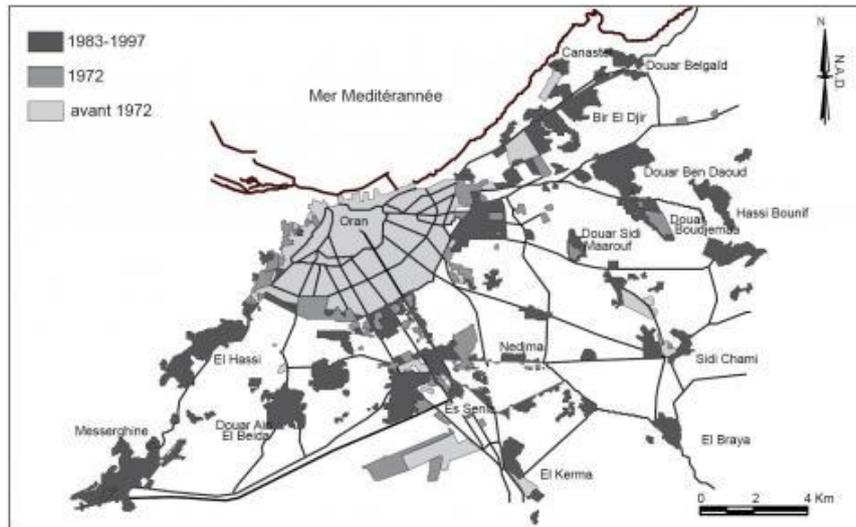


Figure III.4: Extension de la métropole d'Oran jusqu'en 1997. Source: URL : [\[http://cdlm.revues.org/4706?lang=en\]](http://cdlm.revues.org/4706?lang=en) ; (Consulté le 31/03/2015 à 19h00).

En urbanisme, la notion de compacité est également délicate à exploiter pour exprimer l'utilisation raisonnée du sol. La compacité est prise toujours comme doctrine d'aménagement et souvent est comme l'augmentation importante des densités, donc le grignotage des espaces vides et la construction en hauteur. Tandis que l'étalement urbain se définit comme l'extension du périmètre des villes par grignotage des espaces ruraux, pose à la fois le problème de l'augmentation des distances domicile-travail et de la disparition progressive des espaces naturels et ruraux. (*Bonin O. Tomasoni, sans date*).

La notion de compacité ou d'étalement renvoie alors au mode de construction de l'espace urbanisé ; la forme est entendue comme objet matériel. Dans son histoire de l'urbanisme, *Lavedan (1926, 1941, 1952)* appréhende la forme urbaine sous l'angle des tracés urbains, donc des réseaux. Il s'agit d'une autre notion de forme urbaine, mais toujours centrée sur l'occupation du sol. (*Bonin O. Tomasoni, sans date*). La compaction sacrifie une limite à la ville (le retour à la ville fortifiée); et l'extension de ce type de ville ne se fait pas en dehors de ses limites donc l'augmentation de la densité du bâti par le remplissage des vides ainsi que construire en hauteur sont les seuls moyens qui permettent d'accueillir plus de populations. (*Bochet. B, et all.2003*).

Les problèmes de l'étalement urbain sont reconnus depuis longtemps. La réponse classique à l'étalement a été la forme compacte. Pourtant les origines des actes modernes proviennent de réponses à la surpopulation, pour soulager l'entassement en laissant entrer plus de lumière et d'air a conduit à la forme urbaine moins compacte.

Ce paradoxe reste en suspens malgré que la ville compacte récente, une croissance intelligente, communauté saine...etc. (*Neuman.M, 2014*).

Plusieurs auteurs, cherchent à définir une forme urbaine durable idéale, d'un côté les partisans de la ville compacte pour qui un haut degré de densité (élevée), sous ses différentes formes, réduit le nombre de déplacements en voiture et la distance parcourue. Ainsi la forte densité de la ville permet de limiter la consommation du sol à travers des stratégies variées: réhabilitations, rénovations et requalifications urbaines. (*G. Haugton, C. Hunter, 1996*). La proximité et la diversité des fonctions offertes par la ville permettent l'utilisation du vélo et de la marche à pied comme moyens de transport pour accéder aux facilités locales, d'où une dépendance plus faible à la voiture. Par exemple les villes allemandes de leurs part traduisent souvent le concept de ville durable par celui de ville compacte, ou "à courtes distances". (*Cyria Emelianoff, 2001*).

Aujourd'hui, de fortes densités sont souvent considérées comme des conditions préalables à la croissance économique et le développement urbain durable (par exemple, *Hall, 1999; Florida, 2005; Jenks, Burton et Williams, 1996; Lozano, 2007; Newman et Kenworthy, 1999*). Des villes comme Munich ou Hanovre construisent des quartiers denses, limitent l'étalement urbain par une trame verte inconstructible et renforcent le système de transports en mode propre. L'optique est de considérer l'espace comme une ressource rare et de conduire des politiques visant à l'économiser. Ses partisans affirment qu'elle favorise plus les schémas sociaux axés sur la communauté (*Katz, 1994*). Le principe de la ville compacte, s'il sert la consolidation des villes, peut être source de conflits, voire d'arbitrages difficiles. La densité urbaine n'est qu'un des éléments d'une planification "durable", insuffisant en lui-même, comme l'explique (*Vincent Fouchier, sans date*). *Peter Newman* a démontré que les faibles densités étaient corrélées à une dépense énergétique élevée et à un usage intense de l'automobile. (*Cyria Emelianoff, 2001*). D'un autre côté les données préliminaires de tester la ville compacte vis-à-vis la durabilité suggère que la relation entre compacité et la durabilité peut être négativement corrélée, faiblement liée, ou corrélée de façon limitée. *Simmel (1903, 1950) et Wirth (1938)* ont suggéré que la haute densité provoque un stress émotionnel et d'autres conditions psychologiques négatifs. Bien qu'il y ait suffisamment de la littérature sur les villes compactes, il est déficient en deux façons. Premièrement, il n'y a pas de définition communément admise de la ville compacte, en dépit de son usage courant. Deuxièmement, le peu de preuves qui existe en ce qui concerne la durabilité des villes compactes est équivoque. (*Neuman.M, 2014*).

Pour d'autres auteurs, ils favorisent la ville étalée autrement dit la ville éclatée, considérant que la ville compacte n'a pas fait ses preuves puisque aucune étude décisive n'a mis en lumière les coûts directs et indirects de cette concentration. L'étalement urbain est le

résultat de la confluence de plusieurs facteurs. À l'issue de la croissance de la population et l'expansion géographique des villes, l'étalement urbain a donné lieu à deux nouveaux termes, de nouveaux types de lieux périphériques (par exemple, ville satellite, bord ville, et exurb) et une nouvelle échelle de la ville (mégapole, mégapole, agglomération, et la zone statistique consolidée standard). Beaucoup d'études ont conclu que l'étalement urbain a des effets positifs et négatifs. (*Neuman.M, 2014*).

La concentration de plusieurs millions d'habitants et de toutes les activités économiques dans une ville peut conduire à de graves problèmes de congestion et pourrait contrarier les objectifs écologiques de la sauvegarde de l'environnement et des économies d'énergie. Du fait de la pression exercée sur les zones libres rares, cette concentration risque, en effet, d'augmenter la congestion, et diminuer la qualité urbaine avec, par conséquent, des effets négatifs en termes de pollutions. (*Bochet. B, et all.2003*), comme *Acioly et Davidson (1998)*, attribué le taux haut de criminalité à des densités élevées. (*Renato Saboya 2014*).

La relation entre les formes urbaines, la mobilité et l'amélioration de l'environnement est assurément moins directe que ce que les urbanistes souhaiteraient, "*la mixité dans l'espace urbain pouvant avoir autant d'effets positifs que la densification en matière de déplacements*" (*Vincent Foucher, 1995*). Les études nord-américaines les plus complètes et rigoureuses ont conclu que, globalement, l'étalement urbain est plus coûteux que le développement compact pour les coûts de fonctionnements et d'immobilisations (*Burchell et Adelaja 1992; Burchell et al., 2002*). Les plus grandes économies acquises lors de contrôles de croissance étaient en terre consommée et les infrastructures construites, en particulier l'eau, les égouts et les installations de la route.

(*Bonin O. Tomasoni*), trouve qu'il est important de revenir aux notions de forme urbaine et de compacité pour proposer un autre modèle de compaction qui soit à priori durable sur l'ensemble de ses volets : économique, social et environnemental. Ainsi une ville durable compacte doit donc permettre l'émergence de plusieurs pôles de densités variables, en fonction de leurs intérêts économiques (économies d'agglomération résultant de la concentration d'activités économiques). Ces pôles doivent être accessibles entre eux, de manière à limiter la circulation automobile résultant de l'accroissement de la taille de la ville, et enfin l'ensemble de la ville, tout en possédant une frontière, de manière à décourager l'étalement urbain, doit avoir la possibilité de se développer et d'étendre ses limites sans "sauts quantiques" tels que l'extension d'une ville au-delà de ses fortifications. D'un autre côté; une ville compacte s'est parfois maintenue dans son principe, au point de représenter un

contre modèle, lui aussi, porté aujourd'hui par le développement durable et présenté comme un objectif des politiques d'aménagement urbain.

La densité urbaine est un patrimoine que l'on se refuse à abandonner, incarnant une certaine idée de la ville, des espaces publics, un sens de l'urbanité. Il en va différemment dans les pays neufs dotés de formes urbaines étalés, qui élaborent des stratégies "d'intensification résidentielle" afin de contenir surtout la longueur des trajets quotidiens et le coût des infrastructures. (*Cyria Emelianoff, 2001*).

La densité est une affaire de mixité, de combinatoires et d'articulations. Il n'y a pas une densité, mais des densités qui se conjuguent ou s'annihilent. Il n'y a pas, non plus, une forme de densité mais des figures diverses qui, par leur présence et leurs renvois, contribuent à produire qualitativement l'espace d'un voisinage accepté, sinon désiré. Cette conjonction des densités qu'elles soient bâties, végétales, faites d'évènements architecturaux et paysagers, c'est ce que l'on pourrait décrire par le terme d'intensité. (*Sabri Bendimérad, 2008*).

La ville compacte est un modèle spatial urbain important qui a émergé depuis que la commission de la communauté européenne publia son "Green Paper" dans "Urban Environment" en 1990 (*Frey, 1999*). Depuis, La compacité urbaine est perçue en tant qu'un élément essentiel qui compose la ville durable. Ils pensent que la ville telle qu'elle était n'a pas de future. Le gouvernement Britannique a adopté ce point de vue ainsi que plusieurs chercheurs : *Elkin et al. (1991), Sherlock (1991), Enwicht (1992), McLaren (1992), Owens and Rickaby (1992)*. Leur raison essentielle se déduit du fait que la ville compacte dispose de beaucoup d'avantages environnementaux et énergétiques. Par contre, plusieurs autres chercheurs insistent sur le fait que le cas de la ville compacte n'est pas prouvé. L'accessibilité solaire modique aux surfaces verticales qui conduit à une réduction des possibilités du profit maximal de cette énergie propre est une de leurs raisons. Qui est donc le cas "optimum" : le model compact ou éclaté ? Répondant à cette question, *Gilles Maignant* écrit : "*La ville compacte et la ville éclatée (ou non compacte) sont deux concepts qui sont des optimums selon la pondération de certains critères mais pas dans l'absolu. La polymorphie de l'espace urbain rend trop complexe toute vision synthétique de la ville*". (*Cheng et all, 2006*)

Selon *Neuman.M (2014)* un paradoxe entre l'avantage urbain et l'habitabilité suburbaine. Malgré de nombreux grands efforts au cours des générations, ce paradoxe n'a pas encore été résolu de manière adéquate. Les récentes tentatives pour mettre fin à l'étalement urbain et d'améliorer l'habitabilité urbaine ont été réalisés par la ville compacte.

Pour qu'une ville soit durable, l'argument valable, les fonctions et la population doivent être concentrées à des densités plus élevées. Pourtant, pour qu'une ville soit vivable, les

fonctions et la population doivent être dispersées à des densités inférieures. Pour être sûr, beaucoup de gens veulent de la verdure, le sentiment de sécurité, de bonnes écoles, de rues calmes, et ainsi de suite, à condition de banlieues résidentielles à faible densité. Donc, nous devons faire preuve de prudence en acceptant les revendications d'habitabilité plus grande dans une forme d'établissement humain sur un autre. L'habitabilité est non seulement une question de forme urbaine, mais aussi une question de préférence personnelle.

Concevoir la ville en termes de processus est plus prometteur pour atteindre l'objectif insaisissable d'une ville durable.

2. LA DENSITE MULTI-VARIABLE

Il y a eu récemment un regain d'intérêt dans les questions de densité résidentielle en Hollande, un pays où la terre est rare et les architectes sont encore beaucoup impliqués dans la conception de logements publics. Deux chercheurs de l'Université technique de Delft, *Berghäuser Pont et Haupt*, ont récemment publié un outil graphique ingénieux et utile appelé "SpaceMate" (*Berghäuser Pont et Haupt, 2002; 2004; 2005; 2007; 2010*).

Berghäuser pont et Haut (2009) présentent un examen des mesures de densité utilisées traditionnellement et montrent qu'aucun d'eux seuls, n'est en mesure de représenter de façon adéquate la densité.

Berghäuser Pont et Haupt (2005; 2009; 2010) ont développé la méthode pour mesurer la densité urbaine multi-variables, *SpaceMate*, dont quatre variables: Index Espace étage (FSI), Index Rez espace (GSI), le ratio de l'espace ouvert (OSR) et de la hauteur du bâtiment (L). FSI et GSI ont été utilisés dans la planification urbaine et la conception depuis la fin du 19ème siècle avec le plan d'extension pour Barcelone par *Ildefonso Cerdà (1860)* comme l'un des premiers exemples (*Busquets, 2005; Radberg, 1988; Alexander, 1993*).

Les deux FSI et GSI sont devenus plus généralement des mesures appliquées depuis qu'ils ont été inclus dans le règlement de la construction de Berlin, 1925 (ex: *Radberg, 1988*).

En 1944, le ministère britannique de la Santé a suggéré d'utiliser FSI, dans les zones dominées par les bâtiments commerciaux, et une conférence internationale à Zurich en 1948 a établi cet indice comme la norme commune en Europe (*Angenot, 1954*). Un terme comparable pour FSI utilisé dans Zonage Résolution de New York City est le rapport de surface au plancher (FAR), d'abord incorporé dans le règlement de zonage de New York en 1940 (*Noble, et al., 1993*). Mais avant FAR a été présenté comme une mesure distincte, le volume construit était le résultat d'une limite sur la couverture des lots de bâtiments (GSI) et

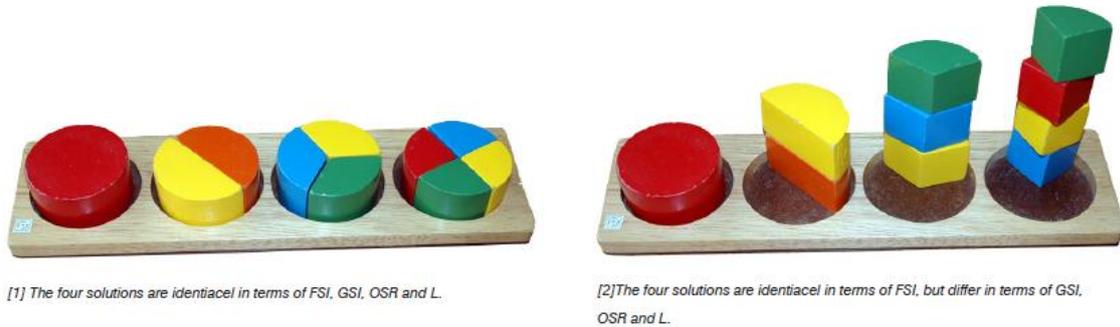
les règlements de la hauteur du bâtiment. L'objectif initial de la réglementation de la densité était de contrôler les “*inconvenients des immeubles de grande hauteur, entassés sur les parcelles trop petites, séparés par des rues trop étroites*” (Noble, et al., 1993, p. 128). Jane Jacobs a soutenu, en 1961, de ne pas fixer des limites sur la densité, mais propose plutôt des niveaux minimaux de forcer les gens dans les rues et les parcs publics à l'appui d'une ville animée (Jacobs, 1961).

Jan Gehl a utilisé le même argument pour un haut GSI dans son plan de rechange pour Syd Ørestad à Copenhague. (M.BERGHÄUSER, L.MARCUS, 2014).

Outre FSI (ou FAR), GSI et la hauteur du bâtiment, la quatrième variable de densité importante a été introduite dans les années 1920 en Allemagne: Open Space Ratio (OSR).

Cette variable a été utilisé pour éviter l'encombrement sans limiter directement FSI et, ce faisant, garantir un minimum d'espace ouvert par rapport à la superficie totale dans une zone (Hoenig, 1928). Cette mesure oblige les architectes et les développeurs afin de compenser une forte FSI avec un espace plus ouvert, résultant dans des bâtiments plus élevés dans un cadre plus spacieux. Plan alternatif de Le Corbusier à la ville compacte du XIXe siècle, La Ville Radieuse, est un exemple extrême d'une telle approche: un plan pour une ville jardin verticale avec beaucoup d'espace ouvert, mais avec des densités pouvant atteindre 250 logements par hectare (M.Berghäuser Pont, 2010 ; M.Berghäuser Pont, et Lars Marcus, 2014, p19). Berghäuser Pont et Haupt (2009; 2010) ont montré que l'expression de la densité avec un seul de ces variables n'est pas assez pour faire une distinction entre les zones avec différentes caractéristiques spatiales (c.-à-d. différents types morphologiques). Ils considèrent que la population et la densité d'habitation ont de sérieuses lacunes lorsqu'il s'agit d'établir une relation avec la forme urbaine, ainsi que lorsque vous travaillez avec la densité d'habitation, la superficie allouée à l'emploi n'est pas prise en compte. Aussi pertinent demeurent la taille, la hauteur des bâtiments et de la distance entre les bâtiments. Un examen des mesures de densité traditionnellement utilisées et montre qu'aucun d'eux seuls, est capable de la représenter adéquatement. (Renato Saboya 2014). Ils affirment aussi que les concepts de densité brute et nette, sont encore ambigus, selon les définitions spécifiques adoptées dans chaque situation. Seulement en exprimant la densité urbaine à travers un composite de variables, FSI, GSI, OSR et L, ces différents types morphologiques se distingue numériquement. Chaque solution spatiale, haute et spacieuse ou basse et compacte, se traduit par une combinaison unique des variables de densité et à une position unique dans le diagramme SpaceMate qu'ils ont développé ainsi.

Un exemple d'une approche à plusieurs variables à la densité peut être illustré en regardant un jeu d'enfants (fig. III.5) dans lequel un cercle est divisé en deux, trois ou quatre pièces.



[1] The four solutions are identical in terms of FSI, GSI, OSR and L.

[2] The four solutions are identical in terms of FSI, but differ in terms of GSI, OSR and L.

Figure III.5: Jeu d'enfant, illustration de la relation entre FSI/GSI/OSR et L ; Les 4 solutions sont identiques en termes de FSI, mais différent en termes de GSI, OSR et L. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p88.

Dans le premier cas, les pièces sont positionnées de telle sorte que quatre cercles pleins sont réalisés. En termes d'intensité (FSI), la couverture (GSI), la hauteur (L) et l'espace (OSR), ce sont des solutions identiques (1, 1, 1, et 0 respectivement). Dans le second cas, les mêmes pièces sont empilées l'une sur l'autre. La première solution, consistant seulement en une seule pièce, est identique à celui de la première image. La deuxième solution se compose de deux pièces empilées l'une sur l'autre, résultant en une réduction de moitié du GSI (0,5) et un doublement de la hauteur. En outre, l'OSR a changé de zéro à 0,25.

Le FSI, cependant, reste le même (1,0). Les deux autres solutions dans la deuxième figure, toujours avec le même FSI, ont à la fois différents GSI, L et les valeurs OSR (troisième solution: 0,33, 3 et 0,67; quatrième solution: 0,25, 4, et 0,75). Nous suggérons que cette combinaison d'indices est nécessaire pour mieux relier la densité urbaine et le potentiel de la forme urbaine. Un inconvénient de cette combinaison d'indicateurs de densité, cependant, est leur concentration sur la masse bâti et l'absence d'une référence à la taille. Dans l'exemple de jeu des enfants rien n'indique la taille des morceaux de bois.

Pour autant que nous sachions, ils pourraient représenter une villa ou un hangar industriel à des mesures de densité identiques. En introduisant la densité du réseau, nous pouvons ajouter l'espace non construit plus profondément et d'arriver à une indication abstraite de mesure. Selon *Berghäuser Pont et Haupt* : “..We will further show that a multi-variable definition of density as proposed in the SpaceMate method is needed to capture important morphological qualities that otherwise are lost in abstract numbers..”, à travers ce passage ils expliquent qu'ils vont montrer qu'une définition multi-variable de densité tel que

proposée dans la méthode *SpaceMate* est nécessaire pour capturer les qualités morphologiques importantes qui, autrement, sont perdues dans des nombres abstraits.

Berghäuser pont et Haupt (2009) utilisent d'autres mesures, ils suggèrent que, si la densité est définie non seulement comme intensité (FSI), mais comme une combinaison de l'intensité, de la compacité (GSI), la hauteur (L), et la pression sur l'espace non bâti (OSR), il peut être utilisé pour différencier entre forme urbaine d'une manière plus efficace. Pour évaluer les quatre variables simultanément, ils ont développé un schéma, le *SpaceMate*. (**Berghäuser pont et Haupt 2005**) ou la combinaison de ces quatre variables quantitatives donnent à chaque projet une "empreinte spatiale" unique.

3. LE SPACEMATE: *La logique spatiale de la densité urbaine.*

La méthode de mesure de l'espace qui a été développée par l'agence *Permeta* répond aux récents changements dans la pratique de la conception et de la planification appropriée à la ville (projets de grande envergure, de longs délais, la privatisation, un avenir imprévisible, de plus en plus des programmes complexes). Ces changements exigent des stratégies que les planificateurs, politiques et les partis privés lui permettent de regagner de l'influence sur l'aspect pertinent et la qualité de l'environnement bâti. Au même temps, les concepteurs et les développeurs doivent fournir suffisamment de souplesse et de créativité pour réaliser la conception. Le concept de densité, tel qu'il est exprimé dans le procédé du *SpaceMate*, peut être utilisé dans une telle stratégie. (**P.P.VAN et al. 2008**).

SpaceMate est un outil basé sur la connaissance de la relation entre la densité physique et la forme urbaine. Un instrument qui a détaillé la relation entre la densité et la morphologie, il est focalisé sur la comparaison et la relation entre la disponibilité d'espace (la surface de la zone) les types de bâtiments (la surface d'étage) ainsi que l'espace ouvert nécessaire pour les espaces extérieurs et l'accessibilité des bâtiments. (**Stijn Oosterlynck et al 2011**).

Berghäuser PONT; Haupt (2009) ; développent une approche alternative qui consiste à utiliser plusieurs variables pour décrire une zone urbaine. Leur travail établit une série d'unités spatiales strictes sur lesquelles se forment les indices de densité et dans lequel les comparaisons entre les différents sites seraient faites en conséquence. Ils constatent cependant que l'intensité de l'utilisation des terres (FSI ou FAR) est plus efficace, mais encore ne nous permet pas de différencier les différentes dispositions spatiales. La même chose peut être dite sur les autres indices de densité. Tous sont, à un certain degré, informatif, mais aucun ne peut

être utilisé indépendamment pour décrire correctement les propriétés spatiales comme une étape vers la définition des types urbains avec l'utilisation de la densité. Cette méthode permet de décrire l'environnement bâti grâce à l'utilisation d'un ensemble variable de densité (FSI), (GSI), (OSR) et (L). (P.P.VAN et al. 2008).

“*Espace, la densité et la forme urbaine*” (Berghäuser PONT; Haupt, 2009) est un ouvrage récent sur le sujet de *SpaceMate* qui, apporte selon (Renato Saboya ; 2014) une approche vraiment novatrice et avec un niveau de précision sur la question de la densité.

Ces aspects quantitatifs peuvent être généralement utilisés à la fois pour la description et la caractérisation, mais plutôt la prescription de différents environnements urbains. *SpaceMate* permet de relier plusieurs processus des questions programmatiques sur diverses solutions spatiales. (P.P.VAN et al. 2008).

3.1. Quatre variables pour calculer la densité

Les quatre variables nécessaires pour calculer les indicateurs de base FSI, GSI et N, sont les suivants:

3.1.1. Superficie de base (A)

Les limites d'une surface du plan peuvent être définies de différentes manières. La méthode d'établir des limites a d'importance particulière dans les cas où les zones sont à comparer avec les autres, ou utilisés comme références et lorsque les corrélations ou associations, entre deux indicateurs sont testés. Un des aspects positifs de limites formelles, c'est que la plupart des données statistiques sont disponibles pour ces zones. Il y a environ trois façons de définir les limites de la zone:

- ✓ Les limites administratives, telles que des limites cadastrales (les zones rurales suivent la topographie du paysage, pour les zones urbaines les critères socio-économiques sont plus importantes).
- ✓ Les limites prévues, comme une grille arbitraire de pixels ou des cercles, élaborés avec un rayon donné, souvent utilisé dans les applications de SIG.
- ✓ Les limites fondées sur les caractéristiques morphologiques générées.

Cette troisième méthode de délimitation des limites est plus adaptée en reliant la densité aux propriétés spatiales. En laissant la matière elle-même générer ses limites. Cela nécessite, cependant, une sensibilité à la morphologie locale et des changements dans la densité pour établir les limites.

En outre, les méthodes utilisées pour définir les quartiers (et les limites municipales) diffèrent d'une municipalité à l'autre (*van der Meer 2007*).

Les définitions des entités limitrophes (murs, frontières cadastrales ou réseau), et de la quantité d'homogénéité requise des éléments qui composent l'agrégation, peuvent aider à guider la démarcation. Ces règles peuvent également être traduites en algorithmes utilisés par les SIG, et pourraient ainsi substituer le travail artisanal avec un balayage informatisé du paysage urbain, la divisant en différentes entités géographiques.

3.1.2. Longueur du réseau (L)

A l'échelle d'un objet architectural, le réseau par exemple d'une tour de grande hauteur multifonctionnel composé d'escaliers, des couloirs, des ascenseurs et autres espaces nécessaires à la circulation des piétons dans le bâtiment. À l'échelle du quartier, le réseau se compose de rues de circulation, rails, routes, canaux, et ainsi de suite. À l'échelle du tissu urbain, qui est l'objet de notre étude, le réseau est la rue d'accès. Dans sa forme la plus traditionnelle la rue d'accès coïncide avec les rues de circulation. Dans les plans fonctionnalistes, différentes modalités sont souvent séparés et les rues d'accès ne coïncident pas avec les rues de la circulation. Dans le cas du tissu urbain la rue (qui est, le réseau) donne accès à un îlot, dans le cas d'un immeuble le couloir (qui est, le réseau) permet d'accéder à un logement ou une chambre. Le réseau peut être défini pour toutes sortes de modalités, chacun d'eux pris séparément ou tous ensemble. Il est important, cependant, de faire la sélection explicite, quel que soit les modalités utilisées.

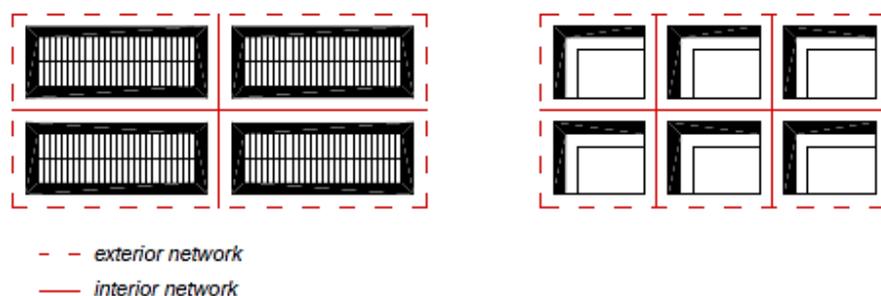


Figure III.6 : Représentation du réseau et la différence entre les réseaux. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 92.

En outre, il faut différencier entre les réseaux internes et externes.

✓ *Réseau interne* se réfère à tous les réseaux qui ne coïncident pas avec toute la démarcation de tissu.

✓ *Réseau externe* désigne le réseau divisé en deux par une ligne de démarcation de tissu. Seulement la moitié du réseau externe contribue au tissu que l'autre moitié appartient aux tissus environnants. Dans la pratique, ceci implique que la totalité de la longueur du réseau à l'intérieur d'un échantillon est mesuré et cette mesure à la moitié du réseau qui circonscrit l'échantillon est ajouté. (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

3.1.3. Surface brute de plancher (F)

La règle de base est que la surface brute de plancher d'un bâtiment est la somme de toutes les surfaces, mesurées par étage, le long du périmètre des cloisons qui entourent le bâtiment, y compris la zone de sous-sol et de la surface de plancher sous un toit en pente. Les vides et les puits ne sont pas inclus dans la mesure où la zone est supérieure à 4 m². Niches ou des évidements et des saillies occasionnels irréguliers ne doivent pas être pris en compte, tant que la zone est inférieure à 0,5 m². Espaces extérieurs, tels que loggias, balcons, passerelles à découvert, des terrasses de toit, etc.... sont pas inclus dans le calcul de la surface brute de plancher d'un bâtiment. En outre, les escaliers de secours ouvert et escaliers de secours ne sont pas inclus dans le calcul de la superficie brute de plancher. Cette définition est tirée de la norme NEN 2580 Néerlandais (NEN 2007). (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

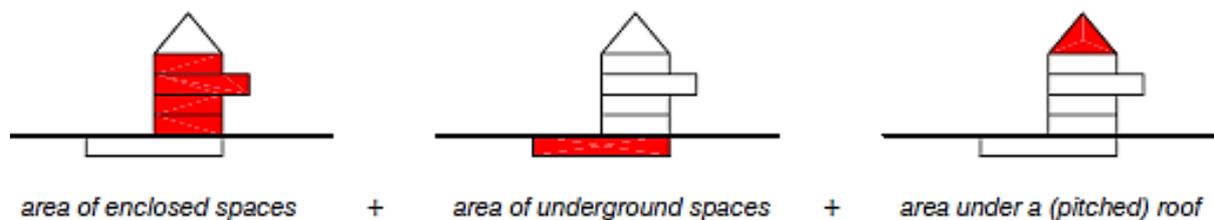


Figure III.7 : Représentation de surface brute de plancher (F).Source: *Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p94*.

3.1.4. Zone bâtie, ou l'empreinte (B)

Lors de l'établissement de la zone bâtie d'immeubles, les mêmes définitions décrites ci-dessus pour la surface brute de plancher sont utilisés. La surface construite est défini comme la surface de plancher, mesurée au niveau du sol le long du périmètre des cloisons de séparation de l'immeuble, et donc exclut les zones en surplomb ou en métré construites. (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).



Figure III.8: Représentation de la zone bâtie, ou l'empreinte(B). Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 94.

3.2. Les unités spatiales

Berghäuser pont et Haut (2009) introduisent des définitions très précises des unités spatiales utilisées pour calculer les densités, permettent lors des comparaisons, un minimum de cohérence de ce qui est mesuré.

3.2.1. Bâtiment(Building)

La zone de la construction est la même que la zone bâtie ou empreinte construite. Les frontières de la zone de construction sont définies par les bords de l'empreinte du bâtiment. (Selon les définitions publiées dans la norme NEN 2580 Néerlandais (NEN 2007)).



Figure III.9: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 91.

3.2.2. Le lot

La superficie du terrain (ou parcelle) est la somme des zones bâties et non bâties (privées) désignés pour la construction. La zone non bâtie est l'espace *tare* (voir §3.4.3 p86) entre le bâtiment et le lot. Dans les zones résidentielles, ces zones non construites sont principalement utilisés pour les jardins et les parcs de stationnement privés. Dans certains cas, les lots comprennent des zones bâties seulement et donc correspondent à l'édifice; pas d'espace *tare*. Les frontières des lots sont définies par les limites juridiques spécifiées dans le cadastre.



Figure III.10: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 91.

3.2.3. L'îlot (Island)

Est défini par un ensemble de parcelles entourées de rues. Parfois, il contiendra également les espaces publics (espace *tare*), tels que des terrains de jeux, des parkings publics et des espaces verts. Un îlot est limité par les frontières des rues publiques qui l'entourent.



Figure III.11: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 91.

Lorsqu'il n'y a pas de rue bordant la périphérie de l'îlot, il est défini par les limites de ce lot, ou une frontière est construite entre les lots et les espaces verts ou de l'eau.

3.2.4. Tissu (Fabric)

Le tissu urbain se compose d'un ensemble de bloc ou d'îlots plus ou moins homogènes et comprend aussi les rues qui les séparent, ainsi que le réseau qui entoure ces îlots et est nécessaire à l'accès aux îlots. Lorsque des espaces verts ou d'eau linéaires tels que les canaux de la Grachtengordel à Amsterdam font partie du tracé des rues, ceux-ci sont ainsi considérés comme faisant partie du réseau. Les ponts, parcs, grandes étendues d'eau, terrains de sport, et les réseaux, sont considérés comme la *tare* de l'unité supérieure par rapport au tissu de l'espace.

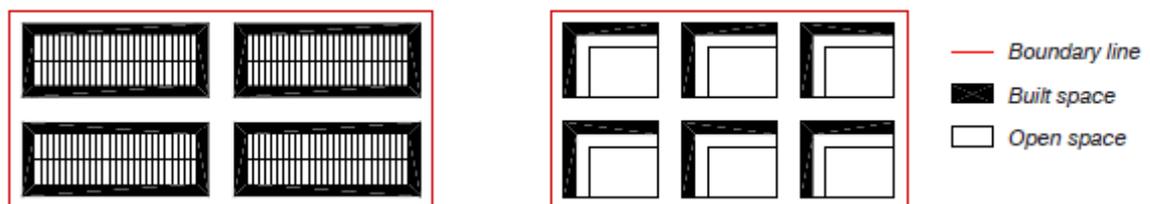


Figure III.12: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 91.

Les limites du tissu sont tirées au milieu des rues d'accès. Dans les cas où il n'y a pas de rue, les limites du tissu sont définies par les limites de ce lot. La taille du tissu est déterminée par le niveau d'homogénéité (propagation) des différents îlots au sein de ce tissu.

3.2.5. Quartier (district)

Cette entité est composée de plusieurs tissus et les espaces à grande échelle non bâties qui ne figurent pas dans le tissu lui-même, telles que les rues de la circulation, parcs, des terrains de sport et d'aires d'eau et plus grandes infrastructures de transport. Ceux-ci constituent l'espace de *tare* entre le tissu et le quartier. Les limites de la circonscription sont dessinées au milieu des rues de circulation. Dans les cas où les rues d'accès sont également utilisées pour la circulation, la limite de la région coïncide avec celle du tissu.

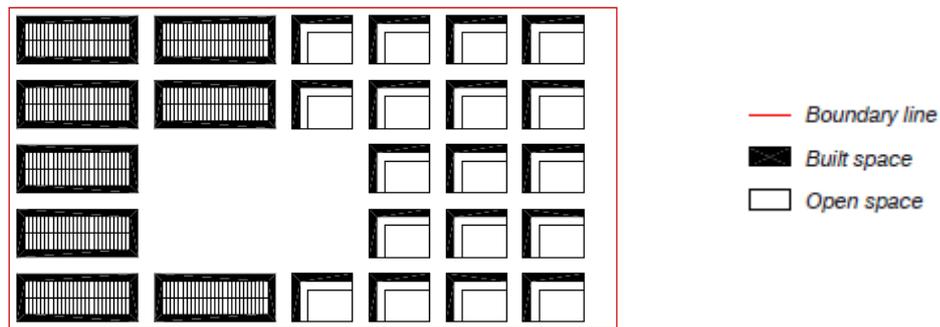


Figure III.13: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 91.

Des études récentes montrent que l'espace *tare* ajoutée diffère grandement à l'échelle du tissu. Cet espace se compose exclusivement d'infrastructure. Une enquête systématique sur la relation entre la répartition de l'espace de *tare* à différentes échelles et typologies urbaines pourrait révéler des idées qui pourraient être d'une grande valeur pour les planificateurs et les concepteurs.

3.3. Les indicateurs du SpaceMate

3.3.1. Floor Space Index (FSI)

The FSI expresses the built intensity of an area. $FSI = \text{gross floor area} / \text{plan area}$.

Ou Indice de la surface de plancher, appelé aussi "Floor area ratio" (FRA) exprime l'intensité d'une zone construite. Autrement dit c'est le coefficient d'occupation de sol COS, le rapport plancher sol, indice de surface de plancher.

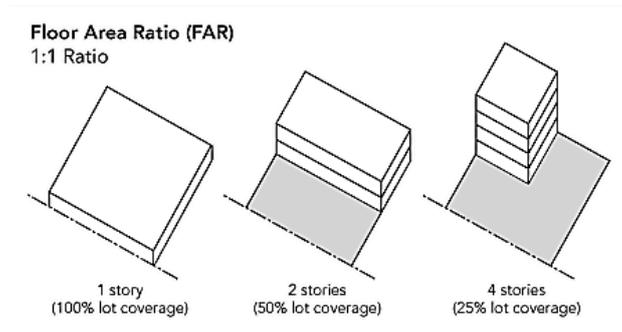


Figure III.14: Illustration de FSI, (FAR) au niveau du plan. Source: <http://www.faoaindia.org/news/far-and-statutory-rights/>

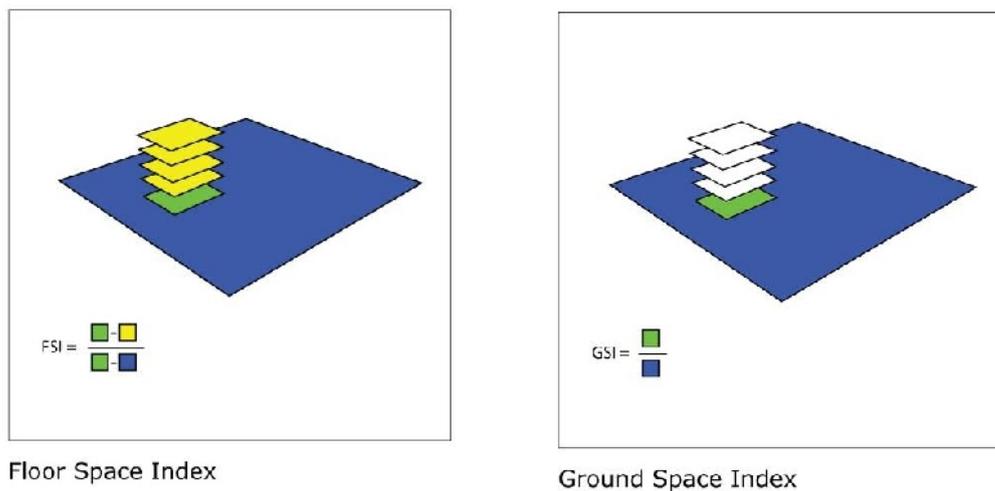


Figure III.15: de gauche à droite : Illustration de la relation mathématique qui exprime le FSI, (FAR) et qui exprime le GSI, (CES).

Source: URL : [<http://www.architectenweb.nl/aweb/archipedia/archipedia.asp?id=13631>]; (Consulté le 04/04/2015 à 20h50).

3.3.2. Ground Space Index (GSI)

The GSI expresses the compactness of an area. $GSI = \text{built area} / \text{plan area}$

Indice de Rez appelé aussi “Coverage” ou la couverture ; exprime la compacité d'une région. Autrement dit c'est le coefficient d'emprise au sol CES, la quantité de sol occupée par la construction. Cet indice utilise l'unité mètres carrés par mètres carrés (m^2 / m^2).

3.3.3. La densité du réseau (network densite) (N)

Définie comme la quantité des rues divisées par surface d'une zone est exprimée en mètres (linéaires) / mètre carré. La figure ci-dessous (III.16) illustre ce calcul: la mesure est le résultat de la longueur totale des rues (à gauche) divisée par la superficie totale de l'unité spatiale (à droite).

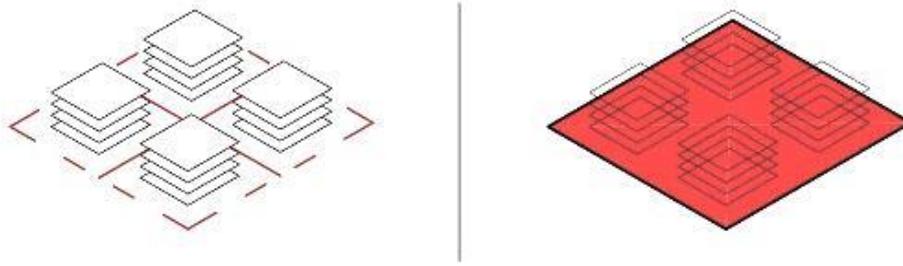


Figure III.16: Représentation de la densité du réseau. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 94.

Ainsi N est donné par la formule suivant :

$$N = (\sum l_i + \sum l_e) / 2 / A_f \quad \text{où}$$

l_i = longueur intérieur du réseau (m)

l_e = longueur extérieur du réseau (m)

A_f = la surface du tissu (m²)

Ils utilisent les arguments de Conzen, le fondateur de l'école britannique de la morphologie, pour justifier le choix du réseau comme une caractéristique fondamentale des zones urbaines, à la définition des principales entités de recherche du paysage urbain. Les entités spatiales définies par Conzen comme essentielles pour le plan de la ville (ou plan de sol) sont le système de la rue, le modèle de lot et la configuration du bâtiment. Ces trois entités sont similaires à la distinction faite dans *De Stadsplattegrond* (*Heeling, et al. 2002*) entre les rues publiques (système de rue) et îlots privées (comprenant des terrains et des bâtiments). La combinaison de rues et une série d'îlot entourées par ces rues constituent le tissu urbain. La tâche principale d'un designer, selon *Heeling, et al. (2002)*, est de combiner ces deux de la meilleure manière possible. Conzen et Muratori décrivent que le lot est l'entité la plus conservatrice au sein d'un complexe morphologique (*Moudon 1994*). *Heeling, et al. (2002)*, d'autre part, se concentre d'avantage sur le modèle de la rue publique et sa relation avec les îlots privés.

La dépendance mutuelle des rues et des îlots est importante dans la compréhension du plan de sol. L'espace de la rue, pour reprendre les mots de *Marshall (2005)*, qui constitue la base fondamentale de tout l'espace public urbain formant un réseau contiguë par lequel tout est lié à tout le reste. D'une part, l'espace au sol construit génère mouvements et provoque des flux (les gens, les voitures, etc.) qui doivent être facilité par le réseau. En outre, l'espace ouvert du réseau permet à la lumière d'accéder à la confidentialité et aux influences des bâtiments, en fonction de la largeur du profil et de la taille des îlots. Îlots compactes développés peuvent être compensés par des profils des rues larges et vice versa.

Toute cette interdépendance de réseau, îlots, et la masse bâti devrait donc être au cœur d'une nouvelle définition de la densité.

Ajoutant de la densité du réseau en tant que principal indicateur de notion de densité, augmente sa capacité d'indiquer les mesures primaires importantes du paysage urbain et de décrire des aspects importants de la forme urbaine. Ils démontrent tard que la combinaison la densité bâti et la densité du réseau leurs permettent d'introduire des mesures pour un concept de densité autrement à une échelle inférieure.

En outre, il permet l'analyse d'un ensemble de propriétés qui sont caractérisés par la relation entre entreteu et servi, entre le réseau et les îlots, les lots et les bâtiments. Densité du réseau au niveau du tissu urbain peut être considérée comme un exemple spécifique d'un concept de densité de transition générale. Avec une *densité de transition* nous appelons le niveau de concentration des frontières des différentes entités dans un certain domaine. Au niveau du tissu urbain, cela peut être défini comme le réseau public (zone de transition).

L'intensité de transitions dans une zone peut être décrite comme la densité de transition. Et la densité de transition au niveau du tissu urbain, c'est la densité du réseau. (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

3.4. Les indicateurs dérivés

Le groupe (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*) ont essayé de dégager à partir des indicateurs de base définie précédemment FSI, GSI ; une série d'indicateurs contribueront à décrire les propriétés spatiales de zones urbaines et d'explorer le potentiel de densité par rapport à la forme urbaine et sa performance. Les indicateurs dérivés indiquent une qualité abstraite et ne devraient pas être interprétées de manière littérale. Les deux premiers, qui seront discutés sont la hauteur du bâtiment et l'ouverture de l'espace et les deux seconds concernant la relation entre l'espace bâti et non-bâti.

3.4.1. L_{ayer} (L)

“(L) Expresses the average number of floors in an area”.

$L = \text{gross floor area} / \text{built area}$

Indique ou exprime le nombre moyen d'étages(ou couches) dans une zone.

Il peut être obtenu en déterminant l'intensité et de la couverture ou, FSI et GSI, pour l'agrégation X. Si plus de surface de plancher est développée dans un certain domaine, sans

changer l'empreinte, L va augmenter. Si la hauteur du bâtiment devrait rester constante, alors FSI et GSI doivent augmenter. (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

$$L = FSI_x / GSI_x$$

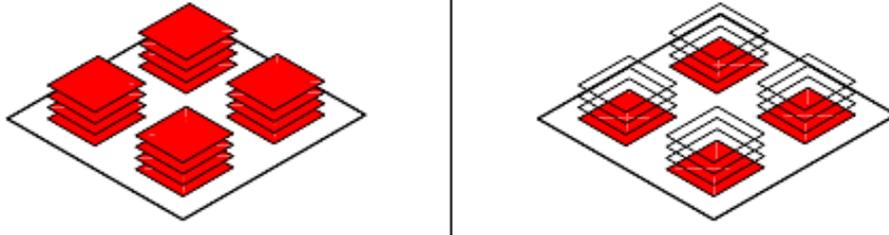


Figure III.17: Illustration Layer (L). Source: *Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 96*.

3.4.2. Open Space Ratio (OSR)

“The OSR expresses the openness of an area and the pressure on the non-built space.

OSR = (plan area \ominus built area) / gross floor area”.

C’est une mesure de la quantité d’espace non construit au niveau du sol par mètre carré de surface de plancher brute. Ainsi qu’il cherche à donner une indication de la pression des zones construites sur les zones ouvertes (la pression sur l’espace non bâti). La figure (III.18) illustre le calcul de cette mesure (en rouge): à gauche sont les zones ouvertes; les zones construites à droite. L’OSR est calculé en divisant la première par la seconde. (*Renato Saboya 2014*). Si plus de surface de plancher est développée dans une zone (avec le même encombrement), l’OSR diminue et le nombre de personnes qui vont utiliser l’espace non bâtis augmente.

OSR C’est le ratio de la couverture de l’espace, à partir de la relation entre le COS et le CES ou : $OSR = (1 - CES) / COS$. Cet indice utilise l’unité mètres carrés par mètres carrés (m^2 / m^2).

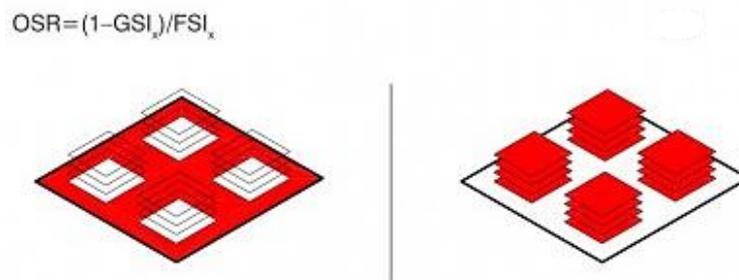


Figure III.18: Illustration Open Space Ratio (OSR). Source: *Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 96*.

La combinaison de ces quatre variables donne à chaque projet une “empreinte spatiale” unique.

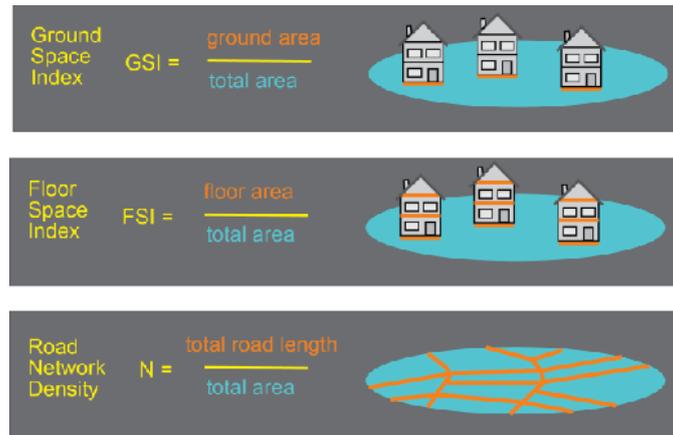


Figure III.19: Illustration définis GSI, FSI, and N qui sont les éléments de base de la densité urbaine tridimensionnelle “SpaceMatrix”. Source: URL [http://www.qside.eu/urban_sus.html], (Consulté le 22/03/2015 à 22h30).

Cependant, il est important d'expliquer un concept très intéressant que les auteurs présentent et qui traverse tous les paramètres et il est essentiel de les comprendre et de comprendre pourquoi la nécessité de maintenir la cohérence dans la définition des domaines de base: *Tare*. Lorsque l'on travaille à une petite échelle, par exemple à l'échelle d'un bâtiment ou un lot ou à plus grande échelle, comme toute la ville ou de la région, de nouveaux composants peuvent être construits comme des agrégats de petits composants. Dans la plupart des cas, cela s'accompagne de l'ajout d'un certain surplus, ou *espace tare*.

3.4.3.L'espace Tare

Une caractéristique importante de la densité est l'une de ses caractéristiques à différents niveaux d'échelle. Dans le *SpaceMate*, la *Tare* est utilisé pour désigner les parties qui sont ajoutés à une unité spatiale ; lorsque l'on considère l'unité spatiale plus large que la première partie. Par exemple, lorsque nous avons adopté l'unité spatiale de “bloc” pour l'unité spatiale “tissus”, le premier à ajouter les espaces réservés pour les rues, les trottoirs, etc., qui sont la *tare*. La même chose est vraie quand nous déplaçons le tissu pour le quartier, quand ils deviennent des espaces intégrés tels que les parcs, les places, les zones de conservation, plans d'eau, etc. Plus précisément, la *Tare* est le rapport de la zone “gauche” et la superficie totale (zone gauche divisée par la zone de droite fig.II.20). (*Berghäuser PONT; Haupt, 2009*).

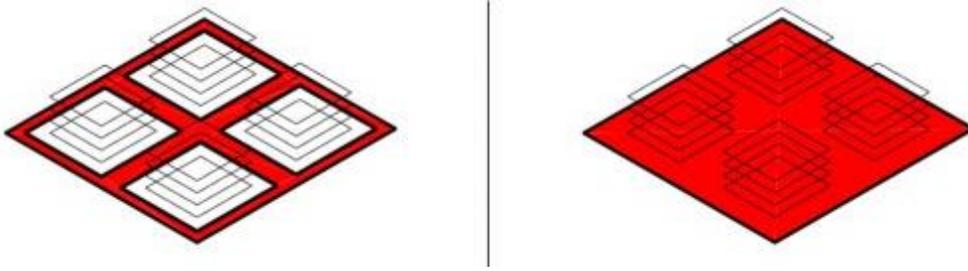


Figure III.20: Représentation du bâtiment. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 96.

La différence de superficie de base (A_x) entre deux niveaux d'échelle définie la tare (T_x), aussi souvent décrite comme la différence entre net et brut. Si T décrit la tare entre, par exemple tissu (x) et de l'ilot ($x-1$), alors T peut être arrivé à travers:

$$T_x = (A_x - \sum A_{x-1}) / A_x \quad \text{où}$$

X = agrégation x

$x-1$ = niveau d'échelle des composants dont l'agrégation est composé x

De cela, il est clair que nous ne pouvons pas (ou nous ne devrions pas) comparer la densité calculée, par exemple, sur une mesure de tissu et une mesure de quartier. Ces derniers sont beaucoup plus grands que la première tare, et donc la densité est plus "diluée" dans la comparaison. En comparant les mesures calculées sur la même base on minimise risque.

3.4.3.1. Largeur de maille et de profil

La distance moyenne entre les blocs dans un tissu, la largeur moyenne des dimensions des blocs et la largeur moyenne des rues, sont contenues dans la diminution d'intérêt, ceci est bien illustrer sur la figure (III.21).

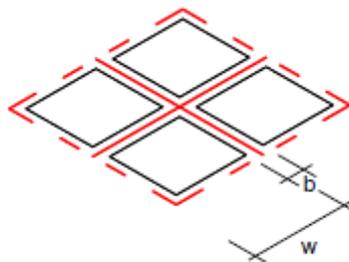


Figure III.21: Représentation de la densité du réseau. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 94.

La densité du réseau peut être utilisée pour calculer la valeur indicative de maille (W), ou la distance de rue en rue dans une grille carrée du tissu urbain, en utilisant la formule suivante:

$$W = 2 / N$$

La densité du réseau (N) élevé correspondant à une petite ouverture de maille de la trame urbaine et la densité du réseau (N) faible correspondant à une large maille.

En combinaison avec la tare du tissu (T), on peut arriver à la largeur de profil (b), dont la relation entre ces variables peut être décrite comme:

$$b = 2 * (1 - \sqrt{(1 - T)}) / N \quad \text{ou, combiné à:}$$

$$b = 2 * (1 - \sqrt{(GSIf / GSIi)}) / N_f.$$

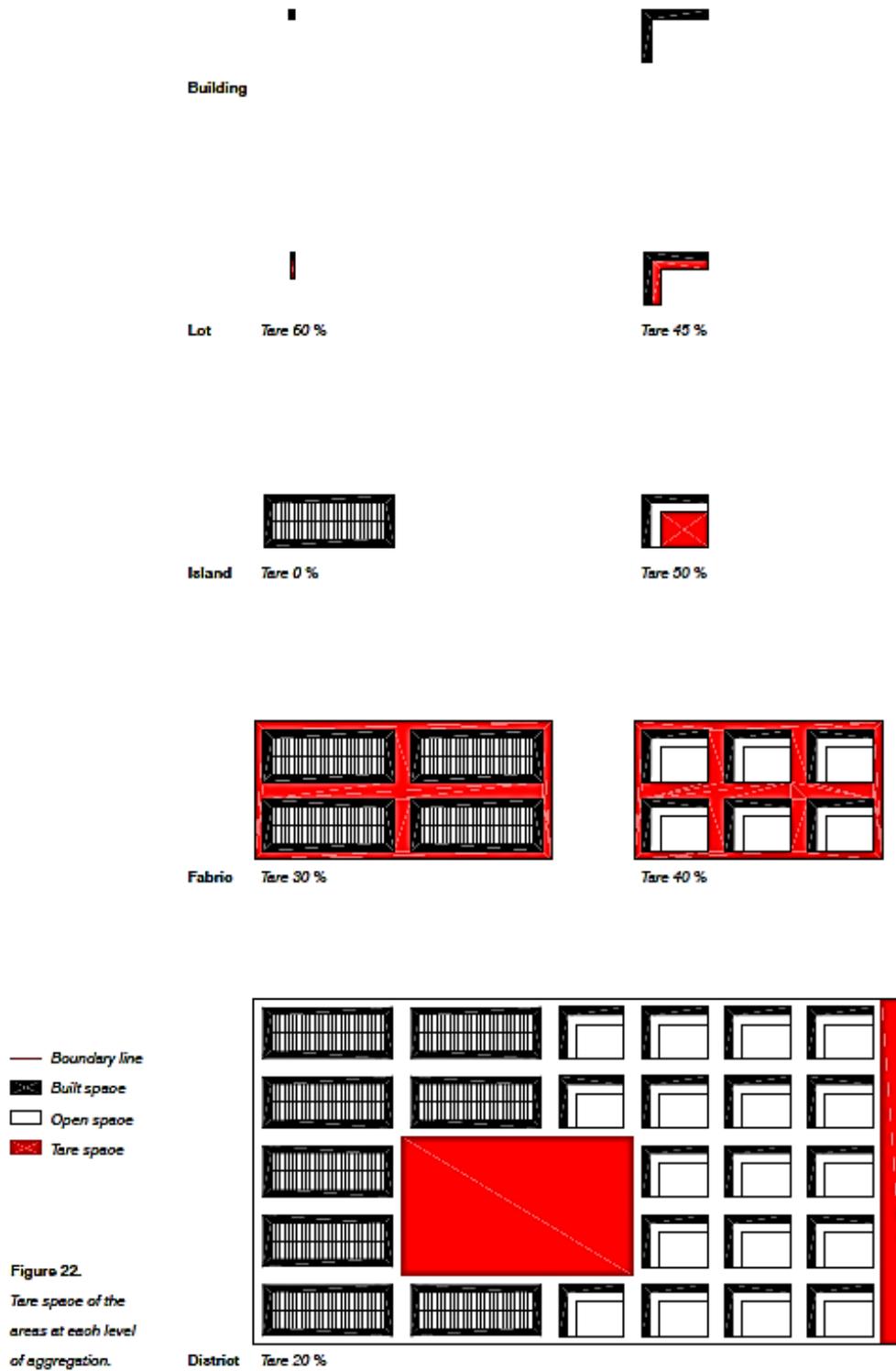


Figure III.22: L'espace tare dans les différentes échelles de l'agrégation. Source : Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 101.

3.5. La représentation de la densité

3.5.1. Le schéma *SpaceMatrix*

Le *SpaceMatrix* est un moyen ingénieux créé par les auteurs (*Berghäuser et Haupt, 2009*) pour être en mesure d'évaluer simultanément les trois principaux indicateurs FSI, GSI et N, en un seul diagramme en trois dimensions, plusieurs caractéristiques de la densité des zones pouvant être analysées. Par de dessous, nous pouvons voir que toute zone peut être représentée par trois dimensions principales (N, GSI et FSI) à un point dans l'espace en trois dimensions, comme une sorte de "densité d'empreintes digitales", qui est une combinaison unique de ces trois mesures. Le *SpaceMatrix* a été construit : FSI sur l'axe Y exprime l'intensité intégrée d'une certaine zone, GSI sur l'axe X est un indicateur de la compacité du bâti, et N sur l'axe des Z décrit la densité du réseau, et se présente comme un tel indicateur de taille de la trame urbaine (schéma III.1).

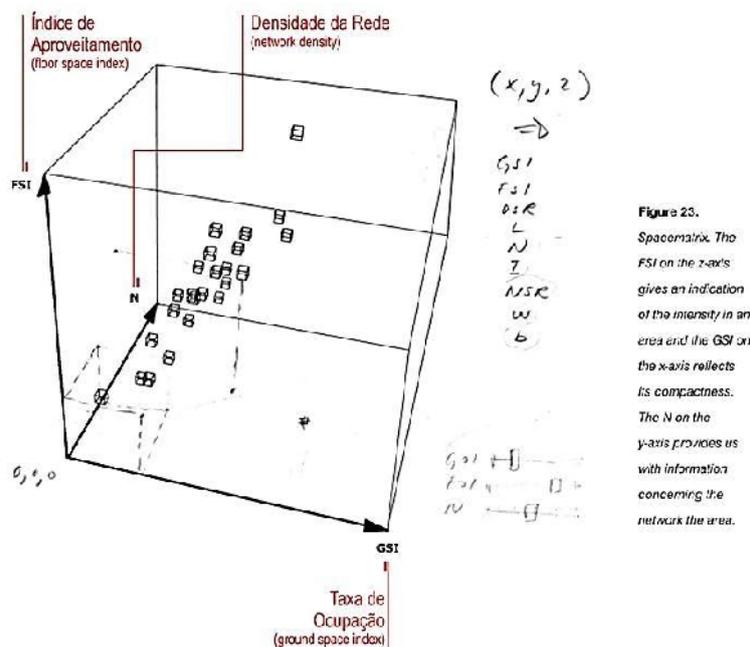


Schéma III.1: Illustration du diagramme *SpaceMatrix*. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 98. (Adopté par Renato Saboya, 2014).

Pour un paysage urbain, toutes les entités de sa composition peuvent être positionnées dans le *SpaceMatrix*. La position d'un quartier, par exemple, est composée d'un ensemble de tissus, qui sont composées d'une série d'îlots, et ainsi de suite. Toutes les informations nécessaires sur les indicateurs dérivés décrits ci-dessus. Cela signifie que la zone peut être

représentée par de nombreux médiateurs, tels que des cartes, des photos ou des textes, mais aussi par son empreinte de densité, exprimée en une série de positions dans le *SpaceMatrix*.

Cette représentation spatiale d'une région offre beaucoup de données (absolue et relative) d'analyse et de rendre explicites certaines propriétés spatiales de la région. Ceux-ci peuvent servir d'entrée pour la compréhension et la spéculation sur les autres propriétés non-spatiales.

Toutefois, comme le *SpaceMatrix* il ne peut pas être facilement compris lorsqu'il est vu ainsi, les auteurs utilisent deux représentations, l'équivalent de deux "faces" ou projections du schéma d'origine de mieux communiquer la relation entre les mesures. (*Renato Saboya 2014*).

3.5.2. Le schéma (diagramme) SpaceMate

La densité est définie comme une combinaison de l'intensité (FSI), de la compacité (GSI), la hauteur (L), et la pression sur l'espace non bâti (OSR), il peut être utilisé pour différencier entre forme urbaine d'une manière plus efficace. Pour évaluer ces quatre variables simultanément, *Berghäuser et Haupt (2009)* ont développé un schéma qui rend les relations spatiales mesurables en combinant quatre variables correspondant à FSI sur l'axe des Y donne une indication de l'intensité dans une zone de construction (le taux d'utilisation) et GSI sur l'axe des abscisses correspond à la couverture du sol, ou de la compacité (le taux d'occupation), Un troisième "axe", oblique, est le montant moyen de surface de plancher, qui indique L'(OSR) et (L) qui sont dégradés en éventail sur le diagramme. Le *SpaceMate* qui est la projection du *SpaceMatrix* (graphe III.1) permet de discuter de la relation entre les aspects quantitatifs de la densité et les caractéristiques de l'espace urbain.

3.6. Échelle et Variation

Le *SpaceMatrix* aide à apprécier deux aspects du paysage urbain : *l'échelle* et *l'homogénéité*. La densité multi-variable des différentes agrégations ; bâtiment, lot, îlots, tissu et de quartier ; transmettent non seulement les valeurs absolues des différentes agrégations, mais aussi les valeurs relatives à la forme de la tare.

Un tissu composé d'un certain nombre d'îlots sera positionné à une position plus proche de l'origine du diagramme (GSI et FSI inférieure) que la moyenne des îlots (graphe III.2 et III.3). La distance relative entre les deux décrivant la quantité de tare présente sous forme de réseau dans le tissu.

Dans les tissus composés d'îlots à haute densité et le réseau public rare (ruelles étroites et de gros blocs), le tissu résultant aura une position relativement proche de celui des îlots.

Dans un cas où les îlots sont entourés d'un vaste espace de l'infrastructure (moderne), les positions seront plus espacées.

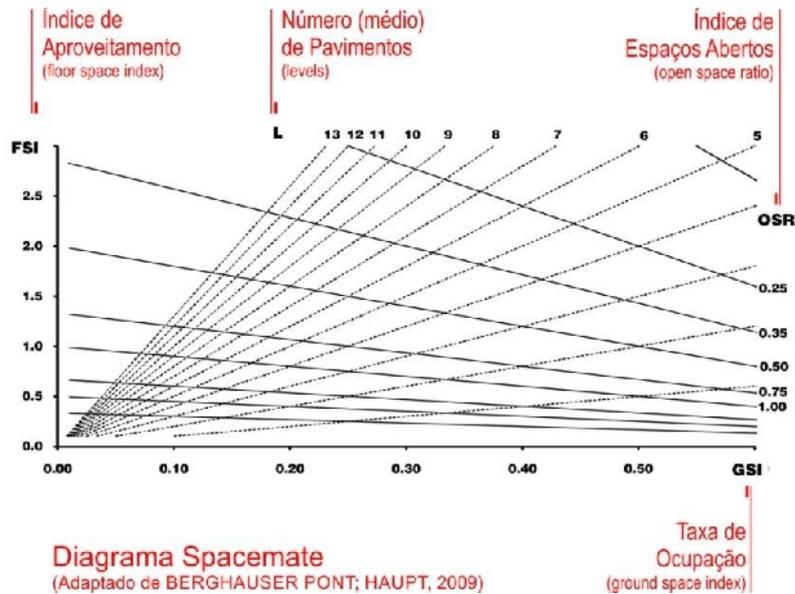


Gráfico III.1: Ilustração do diagrama SpaceMate. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 99. (Adopté par Renato Saboya, 2014).

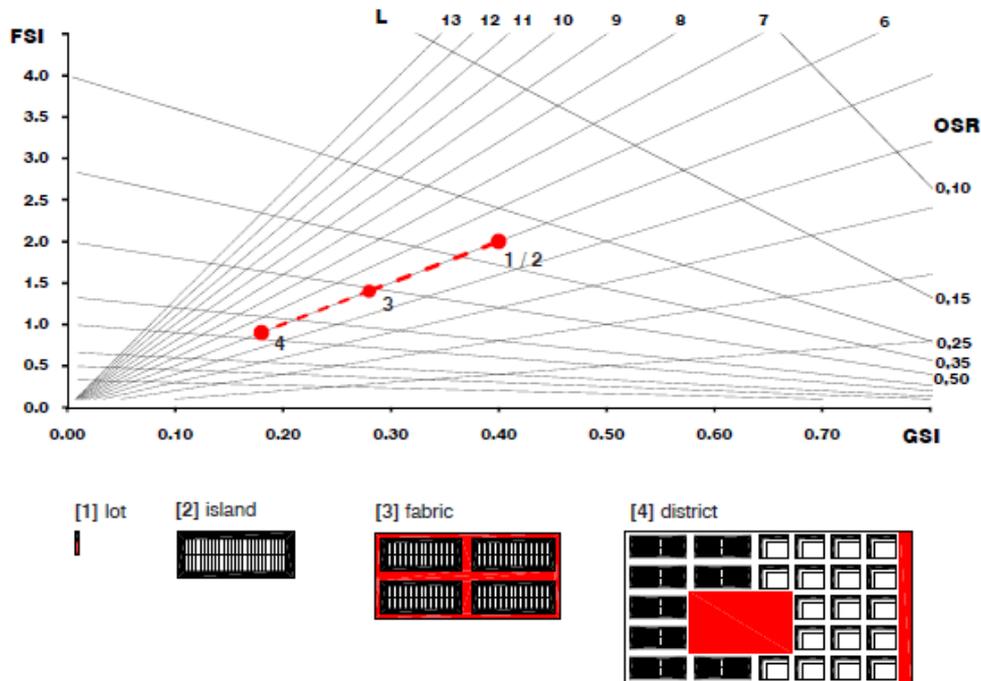
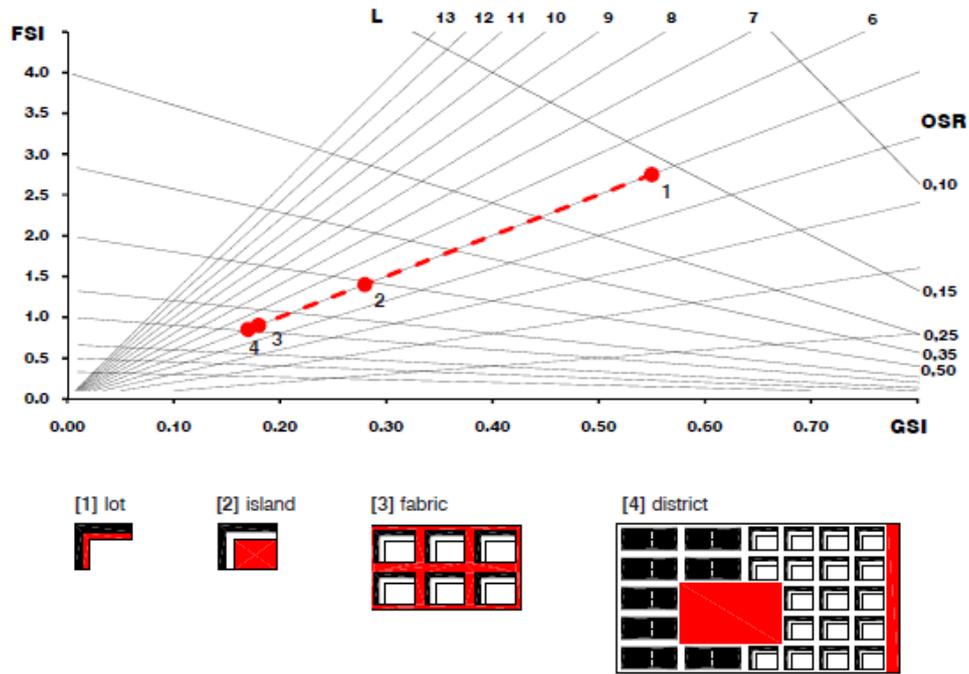


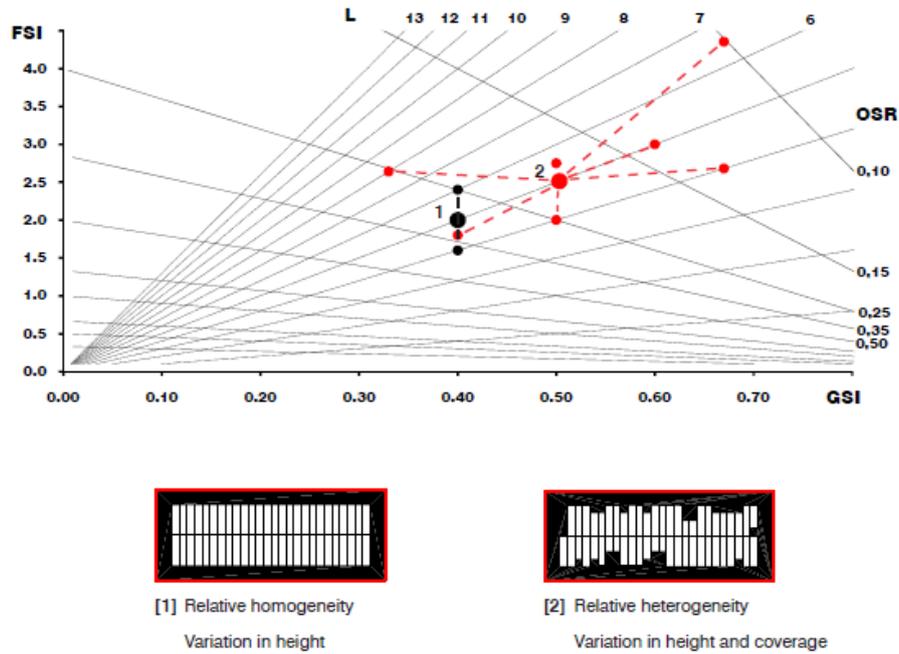
Gráfico III.2: Composição escalada do esquema representando o perímetro tradicional fechado dos blocos. Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 100.



Grphe III.3: Composition scalaire du schème représentant le périmètre moderne ouvert des blocs
Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 100

Dans le premier exemple peu d'espace de tare est ajouté dans les îlots que dans le second, une grande quantité est ajoutée. Cela est vrai à tous les niveaux d'échelle.

Outre la composition scalaire ; la variation de l'homogénéité par rapport à l'hétérogénéité des agrégations qui peuvent être mesurées par le *SpaceMatrix* (et le *SpaceMate*), peuvent être représentées. Chaque agrégation peut être représentée à la fois en tant que moyen de ses éléments et des valeurs spécifiques pour chaque composant qui forme l'agrégation. La moyenne est la valeur de densité d'un certain niveau de l'échelle, les valeurs spécifiques des composantes forment un ensemble plus ou moins grand autour de ce centre de gravité. Dans le cas de la pure répétition, et l'homogénéité absolue, les positions de chaque composante et de moyenne coïncident. L'hétérogénéité de la superficie est représentée par la taille de la propagation, ou cluster de composants. Le caractère de la propagation peut bien sûr varier dans le modèle, à partir d'un seul écart par rapport à un grand volume d'homogénéité relative, à une propagation symétrique et équilibrée des composantes.



Graph III.4: Deux périmètres de blocs traditionnels fermés avec différent variation.
Source: Berghäuser PONT; Haupt, 2009, p 100.

L'image complète de données peut donc **former l'ADN ou l'empreinte spatiale, d'une zone spécifique**. Un tissu sera dans le *SpaceMatrix* caractérisé à la fois par les valeurs moyennes qui déterminent les positions des différents niveaux d'échelle (quartier, tissu, lots, ilots et du bâtiment), et par la taille de la propagation des composantes individuelles.

Certains indicateurs sont directement présentés à travers des positions dans le *SpaceMatrix* par exemples GSI, FSI, N, L, OSR et W. Les autres atteignent leur valeur à travers les valeurs relatives des différents niveaux d'échelle ; par exemples la largeur de profil et la tare (T et B).

4. UNE NOUVELLE APPROCHE DE DENSITE URBAINE

La recherche de *Berghäuser et Haupt (2009)* sous le titre de "*Space, Density and Urban Form*" a pris son envol avec un examen critique de l'origine, le contenu et l'utilité pratique de la notion de densité urbaine, et a visé à réviser et à faire revivre le concept au profit de la planification et de processus de conception, et de la recherche scientifique.

Outre le besoin argumenté de relation entre la densité et la forme, la densité est également considérée avec suspicion en raison de la confusion quant à la définition des limites du plan et l'échelle à laquelle sont évalués.

Ils discernent que cela ne signifie pas qu'un vieil instrument est juste sorti du sous-sol, dépoussiéré et relancé. Par contre, les lacunes des méthodes de mesure de densité existants diffusent les informations sur la forme urbaine et la performance sont certainement très réelles, comme d'autres l'ont souligné. Ces lacunes, cependant, ont conduit à la conclusion que le concept en tant que tel est imparfait et même dangereux. *“Nous insistons, cependant, que le problème avec les méthodes de mesures de densité les plus couramment utilisées est l'un de la représentation et de la résolution, et non de la notion elle-même”*. **Berghäuser et Haupt (2009)**.

Le développement de la méthode *SpaceMatrix* pour mesurer la densité et d'identifier une série de propriétés associées est le résultat principal de cette recherche. *“Nous avons redéfini la densité comme un phénomène multi-variable et multi-scalaire pour contrer la confusion existante comme une Bible dans la terminologie actuellement utilisée par ceux qui travaillent dans le domaine urbain”*. **Berghäuser et Haupt (2009)**.

En outre, grâce à l'utilisation de cette approche multi-variable et multi-scalaire, la densité peut être liée au potentiel de la forme urbaine et d'autres performances. Cela permet de repositionner le concept de densité dans le domaine de la planification et de l'aménagement urbain, et la recherche. Prescrire le programme d'une zone donnée depuis un instrument, la densité peut devenir un outil pour guider les ambitions quantitatives et qualitatives, et donc fusionner urbanisme et design en véritable urbanisme.

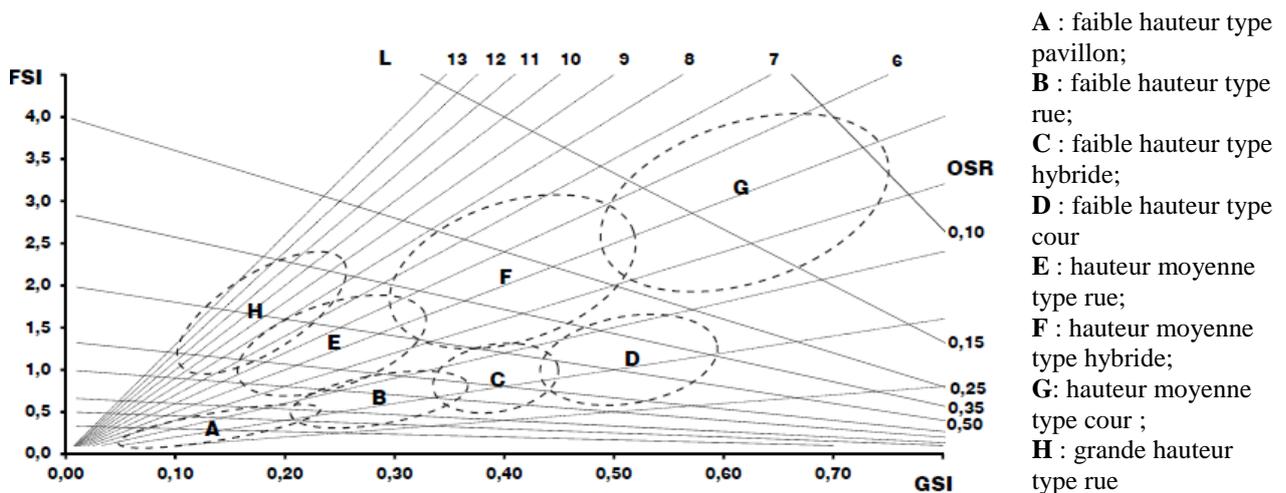
5. LES APPLICATIONS DU SPACEMATE

Des recherches empiriques ont montré qu'une série de groupes de typologies (l'attribution de la construction, l'intensité urbaine et les typologies d'espace ouvert) peut être définie avec l'utilisation du *SpaceMate*. En plus de décrire les propriétés fondamentales de l'espace construit, peut également être utilisé pour étudier et décrire le “comportement”, ou l'exécution, des zones urbaines avec diverses conditions de densité. Des exemples de ces indicateurs de performance sont : le stationnement, l'accès de lumière du jour, la vie privée et la gestion d'eau. Chaque indicateur de performance peut être considéré comme une couche descriptive qui, lorsqu'il est combiné avec les autres, peut être utilisée pour clarifier les différents aspects qualitatifs des milieux urbains, ainsi que l'identification des programmes contradictoires. La pratique urbaine pourrait bénéficier d'un instrument où les principales qualités spatiales peuvent être définies sans fixer le programme ou l'image architecturale d'un

plan. Au même temps, la morphologie comme une discipline académique peut profiter de l'information spatiale produite par des études quantitatives. (*Berghäuser et Haupt, 2007*)

5.1. Clustering morphologique

Des recherches antérieures par *Berghäuser Pont et Haupt (2009; 2010)* montrent que les types morphologiques se regroupent dans des positions différentes dans le diagramme *SpaceMate*. Les exemples au sein du cluster marqués G dans le graphe (III.5) ont, par exemple, à la fois un haut FSI et GSI ; et la plupart contiennent des immeubles de hauteur moyenne (de trois à sept étages) dominés par des blocs périphériques. Exemples avec deux bas FSI et GSI (pôle marquée A) se composent des maisons individuelles avec de grands jardins à une faible hauteur. Entre ces deux peuvent être décrits comme des développements plus linéaires tels que les maisons en rangée jusqu'à trois étages (groupe B), bandes de trois à sept étages (groupe E) ou des bandes supérieures à sept étages (groupe H). (*Meta Berghäuser Pont & Lars Marcus, 2014, p20*).

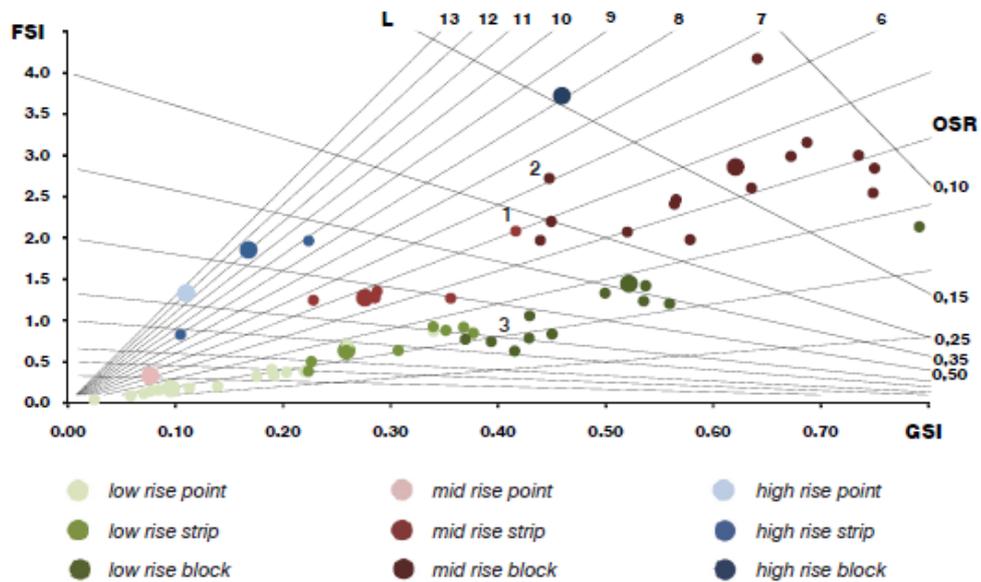


Graphe III.5: Clustering des différents types morphologiques du SpaceMate mesurés à l'échelle de l'îlot (sans les rues). Source : *Meta Berghäuser Pont & Lars Marcus, 2014, p20*.

Il en résulte pour les bâtiments avec le même nombre de niveaux (L) situés le long de lignes droites rayonnantes de l'origine. Ceci est dû à la relation intrinsèque entre FSI et la couverture du sol GSI. Pour un bâtiment à un seul niveau les deux variables prennent la même valeur ; elles décrivent la même chose. Dans un bâtiment à plusieurs étages, FSI est égal à la couverture au sol fois le nombre d'étages.

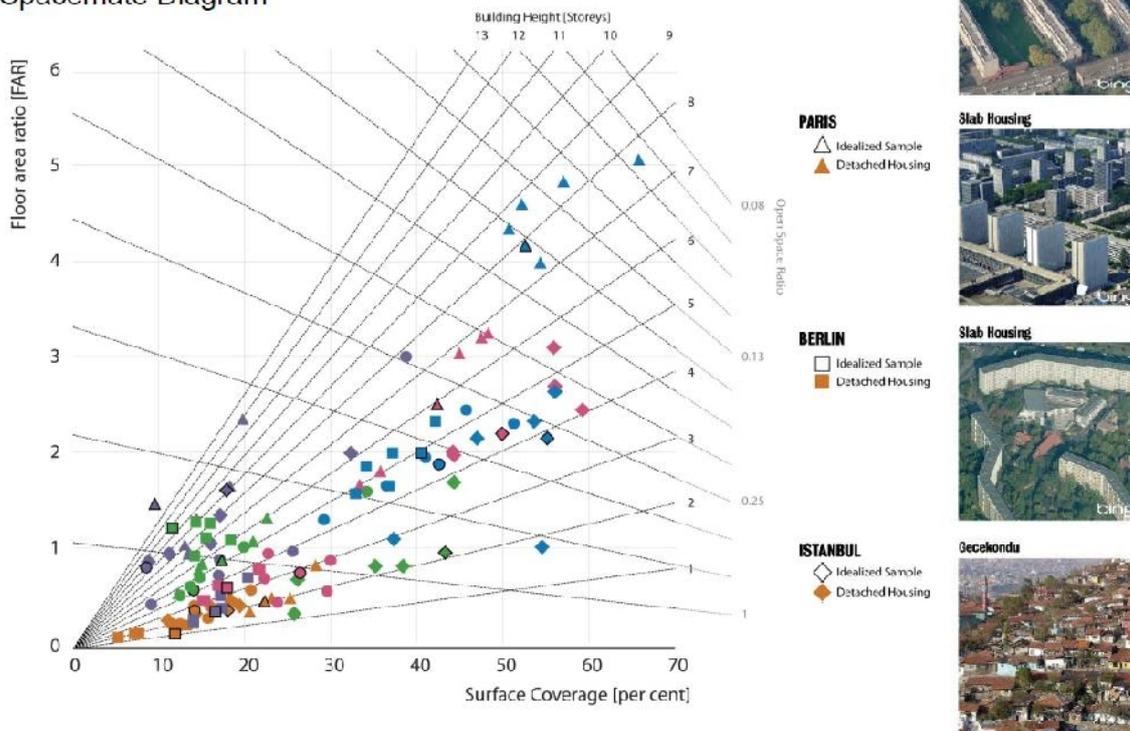
Cela a été appliqué sur le contexte urbain de la ville de d'Amsterdam la capitale des Pays-Bas, ce qui a permis de confirmer l'outil dans ces différentes dimensions. De même pour

l'étude morphologique de quatre grandes métropoles Européennes (Paris, Berlin, Londres et Istanbul) élaboré par *Philippe Rode (2014)*.



Grphe III.6: Tous les échantillons hollandais sur le diagramme SpaceMate (échelle de quartier).
 Source : Berghäuser Pont, M. & Haupt, P. 2009 ; pp 119.

URBAN MORPHOLOGY RELATIONS
 Spacemate Diagram



Grphe III.7: le positionnement des échantillons des quatre villes sur le diagramme SpaceMate. Source: *Philippe Rode, LSE Cities ; 2014.*

5.2. Renouvellement urbain

Dans le projet de *Parkstad*, le renouvellement urbain de la *Westelijke Tuinsteden* à Amsterdam, la relation entre les densités et les qualités spatiales ont été étudiées en utilisant le diagramme *SpaceMate*. Dix modes de vie différents et dix différents milieux de vie ont été définis. Ces modes de vie étaient à la base de conception. Les milieux de vie ont été classés comme très urbaines, urbains (y compris le centre et les rues de la ville), jardin de la ville, parc, de banlieue, des maisons de campagne, les logements déréglementés et les commerces.

La post-évaluation des conceptions réalisées a montré que moins de diversité a été achevée qu'initialement prévues. Les raisons à cela, expliquées par les auteurs de *SpaceMate*:

“Avec cet exemple, nous soulignons le fait que les lignes directrices prédéfinies qui ont été convenues par toutes les parties impliquées dans les premières étapes du processus de planification, et par conséquent respectées, sont nécessaires pour atteindre les objectifs de planification. En outre, les différents milieux de vie ont été définis dans SpaceMate avec des bandes passantes qui chevauchaient l'autre. Cela a été fait délibérément que les ateliers ont démontré que certaines références sont difficiles à caractériser comme un type ou un autre. La décision a donc été de les caractériser à la fois. En outre, certaines incohérences ont été liés à l'absence d'accords clairs sur la façon de définir à quelle échelle les lignes directrices devaient être évaluées et la délimitation précise de la zone de renouvellement urbain auquel les directives devaient être appliquées”. (Berghäuser Pont, M. & Haupt, P. 2010)

Une révision du plan réduit les dix catégories à trois, afin de le rendre plus clair pour les architectes qui travaillent sur la zone pour différencier les trois milieux de vie (fig.III.24). *“Après une année de travail avec ces nouvelles définitions, les domaines de type cité-jardin ont démontré une variation importante dans le type de tissu”.*

5.3. L'intégration SpaceMate avec le travail de Martin et March par Philip Steadman

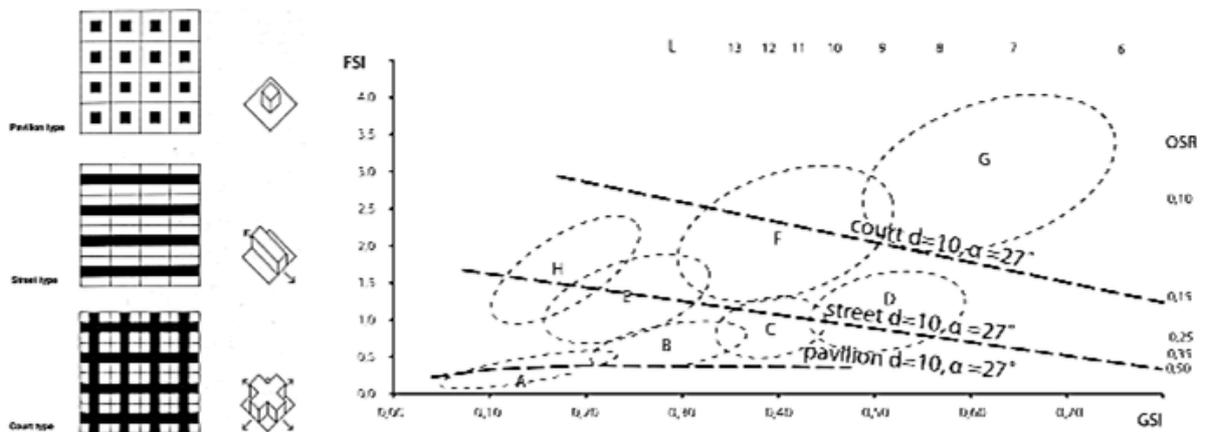
Martin et March(1972) ont montré comment trois formes construites génériques: (pavillons, rues parallèles, et autocentrée : cours) font usage de la terre dans différentes façons distinctement, ainsi la logique spatiale de la densité urbaine rapporte trois propriétés géométriques des bâtiments (FSI, GSI, L); les auteurs ont mesuré ces variables dans un échantillon de quartiers résidentiels néerlandais et montré comment *SpaceMate* sépare les bâtiments en types morphologiques distincts. *Philip Steadman (2013)* apporte les deux

travaux ensemble et montre comment l'analyse de *Martin et March* peut fournir de plus amples explications théoriques de résultats empiriques pour *Berghäuser Pont et Haupt*.

Dans le but de fournir une autre interprétation théorique en examinant les regroupements développés sur le diagramme *SpaceMate* par *Berghäuser Pont et Haupt* à la lumière des travaux de *Martin et March*, et l'introduction de deux variables, la profondeur du plan D, et l'angle de coupure α . Les bâtiments sont tous résidentiels, des maisons à terrasses ou essentiellement des immeubles d'appartement. (D entre 7 m et 14 m, α varier entre 10 et 27°) et en faisant varier le nombre d'étages (L), GSI, OSR et FSI peuvent être calculés.

Pour une comparaison finale considérons des immeubles centraux de bureaux de la ville, où les valeurs de D et α sont plus élevées encore. (Ex gratte-ciel de bureaux de daylit à Chicago du 19ème siècle). Les résultats peuvent être tracés dans le diagramme *SpaceMate* et décrivent trois seuils pour le type de pavillon, de rue, et de cour. Le regroupement des échantillons réels proposés par *Berghäuser Pont et Haupt (2009; 2010)* approximatives pour la plupart, des seuils trouvés pour types schématiques de *Martin et March*. Ces seuils seraient évidemment montés ou descendre pour différentes profondeurs de construction et "cut-off angles" entre façades opposées, et ce fait explique la différence entre la densité tracée des types schématiques et le regroupement des échantillons empiriques.

En conclusion, nous pouvons dire que, en utilisant au moins deux des quatre mesures de densité qui font partie de la méthode *SpaceMate*, nous pouvons réussir à porter la densité de la forme urbaine. (*M. Berghäuser et L.Marcus.2014*).



Graph III. 8: Types de construction définie par *Martin et March (1972, p. 36)* ; Pavillonnaire, Rue et Cour positionné sur le diagramme *SpaceMate*. Source : *Philippe Steadman, 2013, p. 12*.

Une catégorisation morphologique plus précise est alors possible et confirmant les regroupements proposés par les chercheurs ce qui confirmait la possibilité de l'application de l'outil et de la méthode sur n'importe quel tissu urbain dans différents contextes.

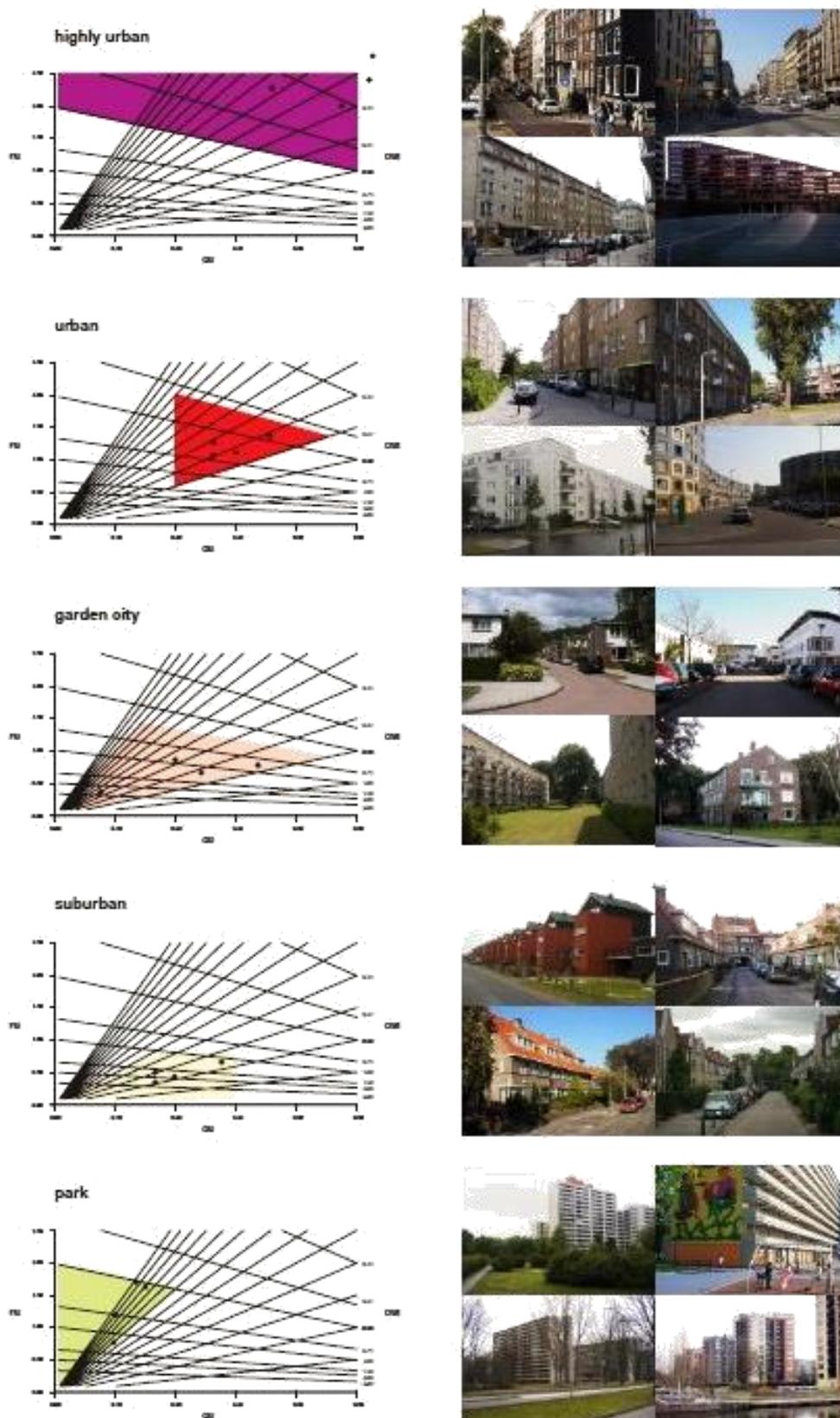


Figure III.23: Les milieux urbains du parc de la ville positionné sur le diagramme SpaceMate ; sur le droite les photos des zone étudié. Source: Permeta¹ ; 2001.

¹ URL : [<http://www.urban-knowledge.nl/5/parkstad-westelijke-tuinstiteden>] (Consulté le 05/05/2015 à 16h00).



Figure III.24: La modification du positionnement des zones des milieux urbains du parc de la ville sur le diagramme SpaceMate. Source: Bureau Parkstad², 2005.

5.4. L'évaluation des performances par le graphe SpaceMate

Les arguments de *Kevin Lynch* dans son livre *Good City Form* (1981) reposent sur l'identification des dimensions de performance mesurables sur lesquels une théorie normative des densités appropriées peut être construite ; et qui vont servir à relier des conséquences négatives ou positives à la densité urbaine. Dans la plupart des cas, sont étroitement liées aux contraintes et exigences appliquées dans le monde réel pour garantir certaines qualités dans nos villes.

Il est nécessaire de définir la relation entre la densité et la performance, et l'évaluation de ces performances, dans toute discussion sur les densités "appropriées". Cela nous permettra de comprendre comment les contraintes influent sur le développement de la ville.

Les performances peuvent en outre produire des informations importantes sur les problèmes et les possibilités à prévoir dans des conditions de différentes densités ; qui sont bien sûr formulées à un moment précis dans le temps et l'espace et les mêmes performances

² URL : [<http://www.urban-knowledge.nl/5/parkstad-westelijke-tuinstden>] (consulté le 05/05/2015 à 16h30).

(accès de lumière du jour, par exemple) peuvent être jugés comme insuffisantes ou plus que suffisante (beaucoup de lumière du jour), selon le contexte historique et géographique.

A ce propos ce qu'ils voulaient souligner c'est l'objectivité relative des performances et de la contextualité de leur jugement. Ceci est en relation avec la méthode *SpaceMate* comme une structure interprétative et représentative universelle, rempli de contenu contingent qui est contextuellement interprété. Les performances peuvent être considérées comme servant des extensions du caractère objectif de la densité dans le domaine physique du paysage urbain, de suspendre la rhétorique, les intérêts et des jugements de préférences d'accompagnement.

Focaliser sur le plan physique de la densité en examinant en outre des propriétés distinctes - sous-propriétés et propriétés composites - de l'environnement bâti par rapport à la densité. Les sous-propriétés les plus fondamentales (intensité, ou FSI), propriétés distinctes (couverture, hauteur et l'espace, ou GSI, L et OSR) et de la composition et des mesures du plan de sol urbain (Nf, b, et Tf).

Un exemple d'une propriété composite est la relation entre N et FSI. La relation entre ces propriétés, combinée avec l'hypothèse du nombre de voitures par mètre carré de surface de plancher, peut être utilisé pour arriver à une performance de stationnement. Les performances peuvent être arrivées à une manière déductive par des définitions claires de la densité, en utilisant *SpaceMatrix*, et les normes. Dans le cas du stationnement de la norme pourrait être une hypothèse de voitures requises par ménage, ou une norme définie par la municipalité. Sur la base d'une densité donnée et un parking norme, nous pouvons calculer la performance de stationnement. Dans un cas, il peut y avoir plus de voitures que des espaces de stationnement disponibles, et dans un autre cas, c'est le contraire. Une évaluation de la situation (acceptable ou inacceptable) exige un jugement basé sur l'imagination et les préférences d'une personne (professionnel ou non), qui est certainement conditionnée par les "facteurs cognitifs individuels" et "facteurs socioculturels". Cependant, le jugement peut être suspendu temporairement, ce qui permet d'explorer des solutions et des performances sans trop hâter les qualifications.

L'utilisation de performances de cette manière, permet d'engager avec les aspects de la densité sans avoir à utiliser des qualifications comme "trop élevé" ou "trop faible". Cela permettrait aux professionnels de mieux fonder leurs décisions et les arbitrages effectués entre performances. Il est important de noter, cependant, que même si l'on peut viser des objectifs de performance neutres, les compromis qui ont lieu entre elles sont, bien sûr, basés sur des valeurs. Par exemple, un choix de programme au coût de l'espace de stationnement vient après

avoir pesé les avantages et les inconvénients, peut-être grâce à la valorisation de l'intensité plus élevée que la mobilité de la voiture construite.

Il est important de garder à l'esprit que les propriétés de densité ont un caractère objectif (ex : un mètre de la rue à chaque mètre d'espace au sol), les normes (contextuellement fondées sur des valeurs collectives) ces variables fournissent avec une valeur fixe temporairement (le stationnement par ménage, ou la quantité de lumière du jour prescrit par une norme), et, enfin, ces performances sont faites par une personne dans un contexte professionnel avec les préférences personnelles. (*Berghäuser Pont, et Haupt, P. 2009*)

En termes de qualité urbaine FSI représente l'intensité du bâtiment tandis que dans l'exploitation des terres cette intensité peut être utilisée pour le calcul des revenus attendus, alors indiquant la valeur des terres. La qualité urbaine est également fortement liée à la couverture (CES). Les deux autres paramètres importants sont l'espace ou le rapport de l'espace ouvert et la hauteur du bâtiment. La corrélation entre OSR et FSI est non seulement par définition, mais peut également témoin dans le domaine. Par exemple la bonne performance des *Docklands* à Londres va de pair avec une forte intensité. L'espace ouvert est limité, mais avec l'avantage de nombreuses vues sur la rivière tout à fait acceptable. La capacité de gain de construction des blocs élevés permet un haut niveau de qualité pour cette ouverture d'espace limité. (*Peter de Jong, 2011*).

Lors de la conception de nos villes, nous utilisons souvent des environnements bâtis existants comme référence. Certaines qualités font appel à des consommateurs et les concepteurs tandis que d'autres ne le font pas. Réfléchir aussi sur le paysage urbain en termes de performance peut aider à éviter l'utilisation inappropriée de ces références. Dans la recherche d'une urbanité dynamique, les valeurs pourraient être évidentes (densités élevées, une bonne accessibilité, un mélange de fonctions), mais il faut également se rappeler que la composition physique d'origine d'une zone pourrait ne pas être acceptable aujourd'hui. Par exemple, des rues étroites et peu de propriétaires de voitures pourraient être incompatibles avec les normes actuelles d'accessibilité. Ces aspirations contradictoires pourraient devenir plus explicites en travaillant de manière critique avec la densité et les performances. (*Berghäuser Pont, et Haupt, P. 2009*).

L'introduction des indices de performance est suggérée la possibilité de l'application du *SpaceMate* comme un instrument de contrôle et un test qui structure la planification à la pratique de design.

CONCLUSION

La notion de densité est utilisée pour construire un pont entre les propriétés formelles et quantitatives des zones urbaines. Beaucoup d'usages établis de la densité manquent de précision spatiale et sont insatisfaisant pour décrire et prescrire la forme urbaine. Seulement quand la densité est considérée comme un composite des aspects, tels que l'intensité, la compacité, la hauteur, et l'espace peut-il être utilisé pour différencier les tissus urbains, de comprendre leurs caractéristiques, et les lignes directrices de conception pour des développements futurs.

Dans le présent chapitre on a présenté la méthode *SpaceMate* décrite dans le travail de *Berghäuser et Haut Pont*, qui fournit une technique de mesure cohérente et révèle une jonction entre les différentes densités et les typologies de développement du sol, l'environnement urbain et l'espace non construit. La combinaison de ces quatre variables va donner à chaque configuration une empreinte unique en milieu urbain. Ces variables sont étroitement liées les unes aux autres et peuvent donc être intégrées dans un seul diagramme, la *SpaceMate* afin de faciliter l'analyse morphologique des tissus urbains dans sa troisième dimension.

Beaucoup de recherches et de travaux ont exploré l'outil *SpaceMate* dans leurs travaux de recherche. Dans l'ultime partie de ce chapitre on a essayé de donner un bref aperçu sur quelques études qu'on a pu collecter et qui lui ont fait recours, afin de bien maîtriser la méthode dont on va se servir dans la présente étude (aux étapes suivantes) afin de bien analyser le cas de notre étude. Dans ce qui suit on essayera d'aborder les effets que peut générer la configuration urbaine sur l'accès solaire à l'échelle urbaine.

CHAPITRE IV

EFFET DE LA CONFIGURATION URBAINE SUR L'ACCES SOLAIRE

INTRODUCTION

Il est connu depuis longtemps que les bâtiments représentent une part importante de la demande mondiale d'énergie. Dans certaines villes, la domination de la demande d'énergie par les bâtiments est encore plus prononcée. (*Philipp Rode et al 2014*) ; environ 40 % de la consommation finale d'énergie dans le monde a lieu dans les bâtiments, (*Pérez-Lombard et al 2008*).

L'ensoleillement considéré comme générateur de la forme urbaine a un impact direct lié à la consommation énergétique, de ce fait l'accès solaire joue un rôle primordial dans la caractérisation de la configuration urbaine la plus appropriée au contexte auquel elle appartient.

Dans ce chapitre, nous abordons la question de la configuration urbaine en se concentrant exclusivement sur l'accès de l'irradiation solaire liée à des problèmes de conception à leur niveau le plus fondamental: la configuration des bâtiments et de la forme urbaine, et à sa fin on va essayer de définir les indicateurs morphologiques qui ont le plus d'influence sur l'accès solaire et par la suite sur l'exploitation de son gisement.

1. LE TISSU URBAIN ET L'ACCES DU SOLEIL

Philipp Rode et al (2014) considèrent que les urbanistes et les décideurs ne différencient pas le tissu urbain par des valeurs géométriques, mais plutôt par des qualités de quartier et les types de bâtiments, ce qui a engendré un manque énorme dans la littérature sur la catégorisation générale des types de morphologie urbaine dans les villes (essentiellement européennes modernes).

Le rapport “morphologie urbaine et demande de l'énergie de chaleur”, par *LSE Cities* au *London School of Economics* et de l'Institut européen de recherche sur l'énergie (*EIFER*) au *Karlsruhe Institute of Technology*, met l'accent sur l'efficacité énergétique de la chaleur créée par la configuration spatiale des villes. (*Philipp Rode et al 2014*), dont ceci est étroitement lié à l'accès solaire, donc étudier l'effet de la géométrie urbaine, l'orientation des tissus urbains et la disposition des bâtiments s'avère très nécessaire afin de mieux tirer profit de cette source énergétique dans l'intérêt de minimiser le recours aux énergies non renouvelables ce qui provoque les émissions des gaz à effets de serre.

Philipp Rode et al (2014), proposent trois types d'intervention peuvent jouer un rôle aussi important dans la réduction de la haute demande énergétique: ajustements de comportement, les progrès technologiques et les considérations de conception.

Les rapports entre surfaces bâties et non bâties, la disposition relative des masses et leur espacement est une variable clé d'ensoleillement au milieu urbain.

Plusieurs chercheurs et beaucoup de projets de recherches ont traité des sujets connexes, où ils ont abordé la question de l'accès solaire et sa relation avec la configuration urbaine afin d'améliorer la qualité urbaine ; sa relation avec la question de consommation énergétique, ainsi qu'ils ont essayé d'évaluer le potentiel solaire dans le but d'une meilleur utilisation de ce potentiel dans les différentes applications des systèmes solaires (passive, active, photovoltaïque et même l'éclairage naturel).

Différentes recherches et études vont être abordées dans ce qui suit et qui ont une relation avec le sujet traité dans cette étude.

2. L'EFFET DE LA MORPHOLOGIE URBAINE

Visant à promouvoir l'architecture urbaine durable en permettant une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire dans l'environnement urbain, l'évaluation de deux sites urbains différents en Suisse: Matthaeus / Bâle-Ville, Meyrin / Genève; *Compagnon, R. et all(2004)*, quant à leur potentiel d'utilisation de l'énergie solaire, a mené à observer que, les valeurs et les surfaces utiles appropriées pour des technologies solaires sont significatifs, mais pas diamétralement opposées: la plus petite différence apparaît pour le niveau passive des techniques solaires (=+14,6%), le plus grand concerne les façades photovoltaïques (=+45%).ils **expliquent Les différences en partie par la morphologie de ces deux tissus.**

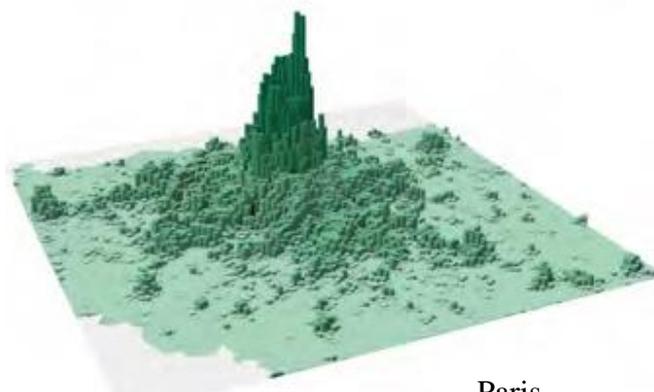
L'étude menée par LSE Cities et EIFER vise à tenir le discours établi sur la demande d'énergie de chaleur et les typologies de construction, à plus grande échelle et en permettant une exploration des compromis et des effets au niveau d'échelle du quartier qui ont jusqu'ici été négligés. Afin de vérifier si la configuration de base des bâtiments au niveau du quartier a des impacts de manière significative sur la demande d'énergie thermique, avec des morphologies urbaines plus **compactes** affichant plus l'efficacité d'énergies thermique que les configurations de construction de banlieue et celle modernistes tels que des tours d'habitation et de logements en bande ; *Philipp Rode et al (2014)* ont analysés et classés par catégories les morphologies urbaines des 4 villes et ont été échantillonnés cinq fois à une échelle de 500 par 500 mètres pour chaque types de bâtiments sélectionnés, pour créer des types de morphologie idéalisés génériques, ensuite ont été modélisés par ordinateur afin de comparer leur performance thermique pour les gains de chaleur solaire passive.

Cela a permis à une enquête de compromis entre la conception, la densité et la demande d'énergie à l'échelle du quartier.

En 1^{er}, la demande d'énergie a été modélisée pour déterminée la demande annuelle de tous les échantillons. Utilisant un ensemble réduit de paramètres, où tous les facteurs non-morphologiques ayant une incidence sur la demande d'énergie comme le facteur d'isolation (valeur U), les détails de la façade, l'âge du bâtiment et des matériaux ont été maintenus constants. Les conditions climatiques pour tous les échantillons ont été fixés à ceux de Paris.



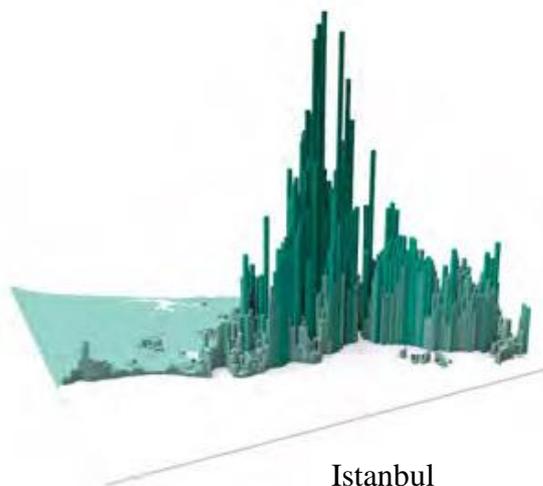
Londres



Paris



Berlin



Istanbul

Figure IV.1 : Représentation des quatre villes cas d'études en fonction de la population de chaque ville en fonction du tût de la population. Source: LSE Cities 2010.

Les orientations de toutes les configurations de bâtiments réels ont été maintenues, alors que les configurations idéalisées ont été ajustés à un axe nord-sud ou est-ouest. Les résultats permis une enquête, à l'échelle du quartier, sur la demande d'énergie thermique des différents types de morphologie et les paramètres morphologiques macro: densité de construction; rapport surface-volume; la hauteur du bâtiment et de la couverture de surface des bâtiments. Ensuite, les effets de l'isolation des murs, U-valeur des fenêtres avec un ratio de vitrage, et le climat ont été étudiés. En particulier, l'étendue à laquelle les niveaux d'isolation peuvent atténué certains des effets négatifs de la morphologie sur la demande d'énergie thermique sont analysés.

Les résultats ont montré que la demande énergétique varie d'un facteur allant jusqu'à 6 et cela dépend de la variation de la morphologie urbaine. Les meilleurs échantillons comprenaient un mélange d'appartements de grande hauteur, le logement collectifs et les blocs urbains compacts. Une série de bons indicateurs pour la demande énergétique :

- Ils affirment la relation Typologie des bâtiments et énergie: Les blocs compacts fonctionnent logiquement mieux, les logements détachés, ils sont les plus mauvais en matière de la demande énergétique.

- La densité constitue une relation inverse avec la demande énergétique, plus c'est dense, moins est la demande énergétique.

- Le ratio de surface-volume constitue une bonne relation linéaire. Le rapport surface-volume augmente avec la demande d'énergie dans les bâtiments. Ces variations de la demande d'énergie thermique à des rapports surface-volume similaire indiquent le compromis entre les pertes de chaleur de surface et les gains solaires.

- Le CES a été constaté avoir une très petite corrélation avec la demande d'énergie. Cette dernière augmentant avec la diminution de la couverture de surface. Cette variable a été considérée comme très faiblement liée à la demande d'énergie thermique. Une bonne performance de l'énergie thermique peut être obtenue avec une large variation de couverture. Une bonne performance thermique peut être obtenue à de faibles CES dans les appartements de grande hauteur, et à des taux de couverture élevés dans des blocs urbains compacts. Cela démontre la large variation de couverture qui existe pour les types de morphologie thermique efficaces.

- Hauteur moyenne des bâtiments répond mieux à une relation logarithmique, avec la demande d'énergie où elle décroît plus la hauteur augmente.

- Les effets des bâtiments peuvent avoir un impact notable sur l'occultation de l'angle du soleil.

- En résumé, les résultats préliminaires de cette étude semblent suggérer que l'efficacité énergétique induite par la morphologie urbaine est soit obtenue par des densités de construction, comme dans tous les cas de blocs urbains compacts ou par les bâtiments à grande hauteur, qui ont à leurs tours permettent des densités urbaines basses qu'un FAR de 1.

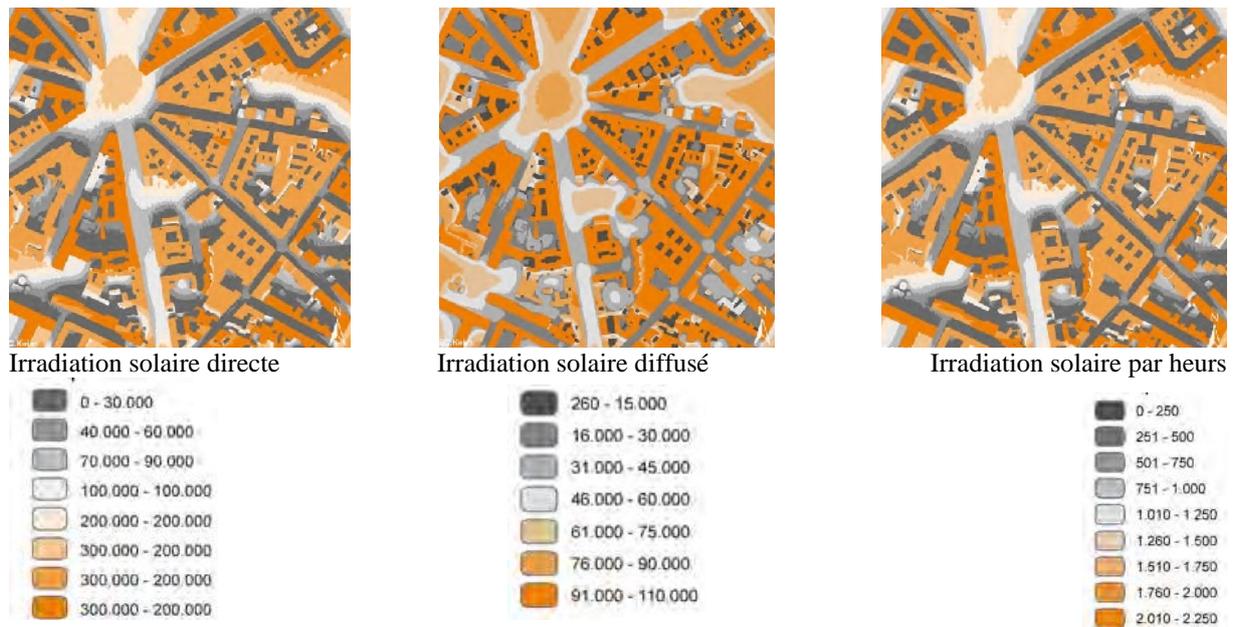


Figure IV.2: Evaluation numérique du rayonnement solaire incident par un SIG des irradiations solaires.
Source : LSE Cities 2010.

3. L'EFFET DES FORMES URBAINES

Une étude élaborée par *Okeil (2004)* dans laquelle il a essayé de développer une forme urbaine appelée *RSB "residential solaire bloc"*, dans un objectif de maximiser l'énergie solaire reçue sur les façades et réduire au minimum celle reçue par les toits et le sol autour des bâtiments, dans un milieu urbain de 48° de latitude en hiver. À travers cette forme il a essayé d'augmenter les gains solaires en hiver accru sur l'enveloppe de bâtiment et les réduire en été pour atténuer l'effet d'îlot de la chaleur urbain. L'exposition solaire de cette forme *RSB*, était comparée à celle de deux autres formes : la forme linéaire et la forme de bloc pour examiner leur performance (le tableau IV.1). Les résultats ont affirmé que la forme *RSB* permet d'atteindre des potentiels d'utilisation d'énergie solaire passive plus élevés. Elle combine les avantages fonctionnels, spatiaux, sociaux et visuels du bloc conventionnel avec les avantages d'efficacité énergétique de la forme urbaine linéaire. Elle soutient également des stratégies

pour atténuer l'îlot de la chaleur urbain en augmentant le flux d'air et en favorisant les toits verts commercialisables.

Paramètres de module

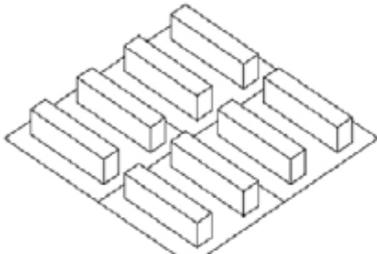
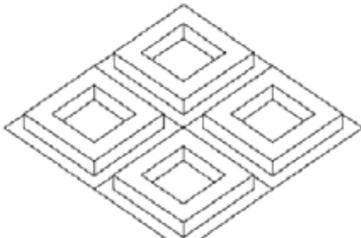
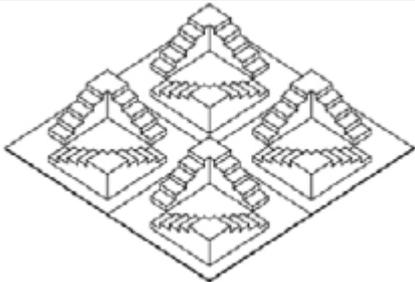
Forme urbaine : Linéaire	
Longueur de module: 76,8m x 76,8m Longueur de bâtiment : 60m Hauteur de bâtiment : 15m Largeur de rue : 26,4 m, 16,8m Surface de module : 1440 m ² Cf : Surface / volume : 0,28	Surface totale : 5898m ² Largeur de bâtiment : 12m Air de jeu : 60m x 26,4m Orientation : 0°, 45°, 90° Rapport de surface couverte : 1 ,2
	
Forme urbaine : Bloc	
Longueur de module: 76,8m x 76,8m Longueur de bâtiment: 60m Hauteur de bâtiment : 9m Largeur de rue : 16,8 m Surface de module : 2304 m ² Cf : Surface / volume: 0,2	Surface totale : 5898m ² Largeur de bâtiment : 12m Air de jeu : 36m x 36m Orientation : 0°, 45° Rapport de surface couverte : 1 ,17
	
Forme urbaine :RSB	
Longueur de module:76,8mx76,8m Longueur de bâtiment : 60m Hauteur de bâtiment : 15m Largeur de rue : 26,4 m x 16,8m Surface de module : 1440 m ² Cf : Surface / volume : 0,28	Surface totale : 5898m ² Largeur de bâtiment : 12m Air de jeu : 36m x 36m Orientation : 45° Rapport de surface couverte : 1 ,1
	

Tableau IV.1: Les caractéristiques des formes urbaines étudiées. Source: Okeil,2004.

Salat (2009) combinait ces résultats avec les données morphologiques recueillies par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et conclut que, en raison de la seule morphologie, la forme urbaine moderne consomme 1,8 fois plus d'énergie pour le chauffage que les blocs urbains parisiens contemporains ou traditionnels. Faisant écho en 2005 la conclusion de **Ratti et al**, qui a suggéré que cela était dû à la hausse des volumes passifs dans l'architecture traditionnelle (90 %) par rapport aux formes modernistes (82 %).

Les résultats de **Sattrup. P.A., Strømman-A, (2013)**, montrent que l'impact relatif à choisir une typologie spécifique traditionnelle ou contemporaine, peut affecter jusqu'à 16% de

la performance totale d'énergie et 48% de l'autonomie de la lumière du jour dans les bâtiments, à des densités urbaines semblables. Ce qui indique que la typologie de bâtiment urbain est un facteur clé affectant la consommation d'énergie et de lumière du jour. Les résultats montrent que la consommation d'énergie est principalement affectée par la densité et la compacité ; la lumière du jour et le confort visuel dépendent plus de la conception géométrique de la typologie. Principalement la forme urbaine, et les typologies architecturales, telle que la forme du bloc a un impact évident sur l'accès solaire du contexte urbain environnant.

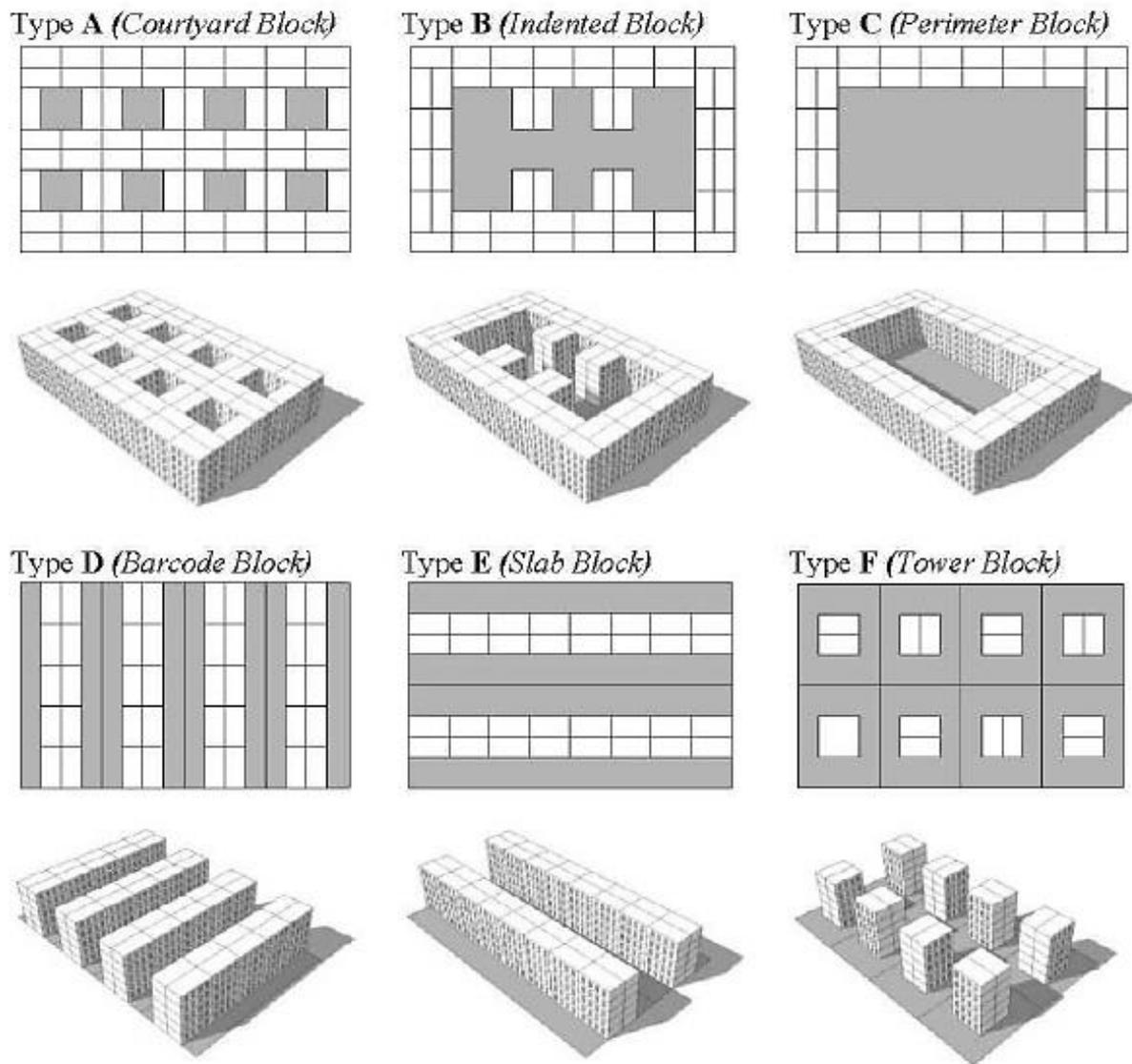
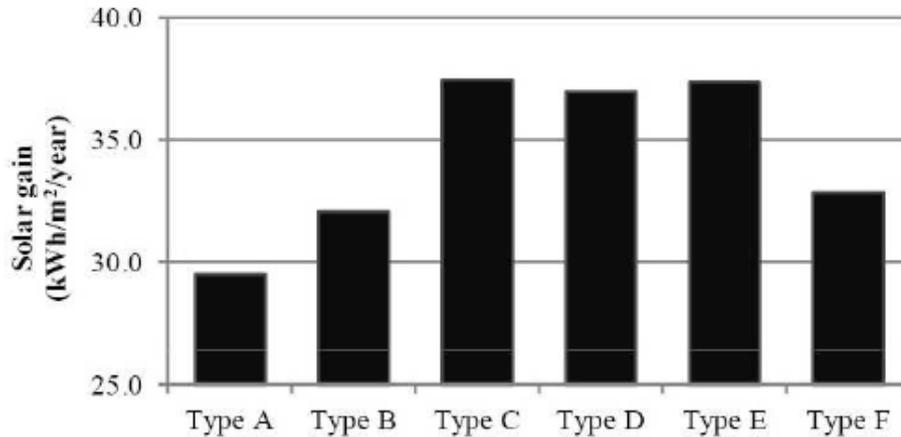


Figure IV.3: Les modèles des six types de bâtiments traditionnels. Source : Strømman-et all, 2013.



Graph IV.1: Les gains solaires passifs (kWh/m²/an). Source : Strømman-et all, (2013).

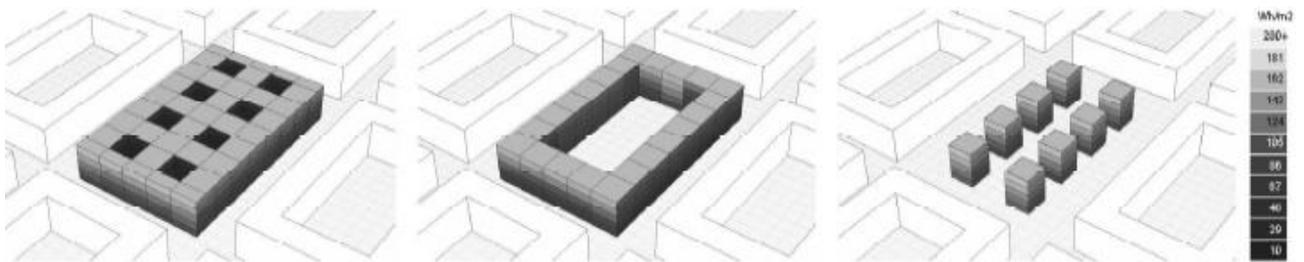


Figure IV 4 : Illustration de l'irradiation solaire incidente pour différente typologie urbaine. Source : Strømman-et all, (2013).

4. L'EFFET DE LA DENSITE URBAINE

D'après *Merlin & Choay* (cité par *Ait-Ameur, 2002*), la densité bâtie est un paramètre déterminant de la quantité des surfaces réceptrices du rayonnement solaire. Elle varie selon le mode d'occupation de l'espace; conséquemment, la densité urbaine varie, à l'échelle de la ville, entre tissu urbaine compact et dense comme le tissu traditionnel vers l'habitat individuel et les grands ensembles lâches. Du point de vue climatique, ce dernier a des effets sur le climat urbain comme l'îlot de chaleur urbain.

Steemers.K, (2003) considère que, la densification, soit matérialisée par une augmentation du nombre d'étages ou par des constructions mitoyennes, diminue le rayonnement solaire incident. En fait pour les bâtiments de bureaux, la densification augmente la consommation énergétique à cause de la réduction des apports solaires. Il nuance ce propos en expliquant que l'augmentation de la densité va faire croître les consommations relatives à l'éclairage et au chauffage en hiver tout en diminuant les consommations liées à la

climatisation en été. Néanmoins, il est question de la consommation énergétique des bâtiments et non pas du rayonnement solaire, même si ces deux grandeurs sont étroitement liées.

Par ailleurs, *Aida et Gotoh* (1982) (cité par *Athamena.K.2013*) ont abordé la densité surfacique urbaine de manière plus simplifiée à travers le rapport $W1/W2$ (où $W1$ est la largeur des toitures $W2$ est la largeur des rues) (Fig. IV.5). Cet indicateur a été étudié par la suite sur une configuration de rue canyon en faisant varier les paramètres $W1$ et $W2$. L'objectif était de quantifier sa variation sur la quantité d'énergie solaire réfléchiée par les surfaces. Les résultats donnés sur la Figure (IV.5) montrent que les valeurs d'albédo équivalent diminuent progressivement avec l'augmentation du rapport $W1/W2$.

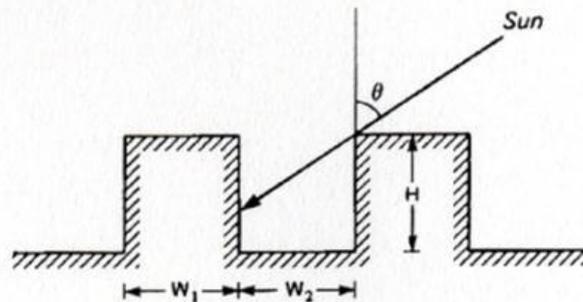
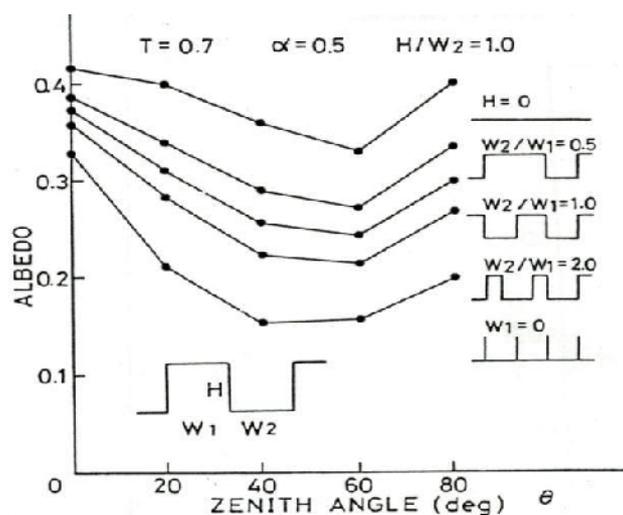


Schéma IV.1 : La hauteur solaire. Source : Aida et Gotoh, 1982.

Autrement dit, l'albédo des surfaces augmente avec la densité des surfaces bâties. En effet, cette densité engendre moins d'échange d'énergie entre les surfaces que dans le cas d'une géométrie fractionnée.



Graphe IV.2: Relation entre l'albédo et la hauteur solaire. Source: Aida et Gotoh, 1982.

L'étude de *HAMEL.K, MAZOUZ.S (2005)* sur les modifications microclimatiques engendrées par des formes urbaines présentant des niveaux de densité urbaine et de compacité de bâti variés, dans les régions arides, à climat chaud et sec afin de dégager, le niveau optimal de densité et de compacité, qui permet d'atténuer les effets négatifs sur le microclimat urbain.

Le choix d'échantillonnage selon plusieurs critères basé sur une analyse typologique qui comprend 3 niveaux de classement ; entre autre le niveau de la densité, et le niveau de compacité urbaine ; cinq échantillons typiques ont été prélevés pour l'application. Cette dernière s'est reposée sur une étude comparative utilisant l'expérimentation basée sur des données par des campagnes de mesure a permis d'estimer les changements microclimatiques.

Les résultats obtenus démontrent et confirment, que la haute densité et compacité du bâti sont plus favorables pour l'atténuation des effets indésirables de celui-ci sur le climat urbain. Le tissu traditionnel et le tissu auto-construit non planifié (populaire), présentent les types les plus favorables (habitat individuel). Il est à noter que le confort thermique dans telle condition climatique ne peut être atteint qu'à travers l'atténuation de l'exposition au rayonnement solaire, ces stratégies peuvent être réalisées par un design urbain compact.

4.1.Effet de la densité urbaine sur le rayonnement solaire

Pour freiner l'étalement urbain, a eu une demande croissante pour la densification des zones urbaines. Il a également eu de nombreux débats controversés plaidant pour la densification sur la base de la consommation d'énergie (net). Il est donc intéressant d'explorer les résultats par rapport à la densité de site pour identifier si des relations intéressantes émergent. (*Darren Robinson et all; 2005*).

Plusieurs articles traitent la relation qu'entretiennent la densité, forme urbaine et les qualités environnementales. Cependant, les manières d'étudier cette relation sont variées.

Ji Zhang et al (2012) mettent en avant une variable, le *Sky View Factor* (SVF), afin de trouver une relation entre le SVF et la consommation énergétique des bâtiments. Pour ce faire, ils ont sélectionné des îlots représentatifs de la forme urbaine de grandes villes (Amsterdam, Barcelone et Paris) et ont appliqué une démarche de "normalisation + réplique", ce qui a permis de créer artificiellement un environnement homogène du point de vue de la forme urbaine. Il ressort de cette étude que l'analyse du SVF seul ne peut apporter de réponse complète quant à la consommation énergétique des bâtiments. En effet, si le SVF est bas, cela indique que le bâtiment reçoit peu de rayonnement solaire. De plus, un bâtiment possédant beaucoup d'angles, peut avoir des surfaces qui se cachent mutuellement et donc avoir un SVF

bas, alors que les surfaces libres fournissent assez d'accès au soleil pour subvenir aux besoins du bâtiment.

4.2.L'impact de la densité urbaine sur le bilan énergétique

L'étude présentée en 2006 par *Cheng et al.* a examiné les rapports entre la forme urbaine, la densité et le potentiel solaire, sur dix-huit modèles génériques ; présentent des combinaisons particulières. Ces modèles ont été regroupés en quatre différentes formes chacune présente une disposition entre verticales, horizontales ; uniformes ou bien aléatoires.

Ces formes sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Case	Form (H, V)	Site Coverage	Plot Ratio	Floor Area (m ²)
1	(Uniform, Uniform)	9%	1.4	14400
2	(Uniform, Uniform)	9%	3.6	36000
3	(Uniform, Uniform)	9%	7.2	72000
4	(Uniform, Uniform)	36%	1.4	14400
5	(Uniform, Uniform)	36%	3.6	36000
6	(Uniform, Uniform)	36%	7.2	72000
7	(Uniform, Random)	9%	1.4	14400
8	(Uniform, Random)	9%	3.6	36000
9	(Uniform, Random)	9%	7.2	72000
10	(Uniform, Random)	36%	1.4	14400
11	(Uniform, Random)	36%	3.6	36000
12	(Uniform, Random)	36%	7.2	72000
13	(Random, Uniform)	9%	1.4	14400
14	(Random, Uniform)	9%	3.6	36000
15	(Random, Uniform)	9%	7.2	72000
16	(Random, Random)	9%	1.4	14400
17	(Random, Random)	9%	3.6	36000
18	(Random, Random)	9%	7.2	72000

Tableau IV.2: Sommaire des cas étudiés. Source: Cheng et al, (2006).

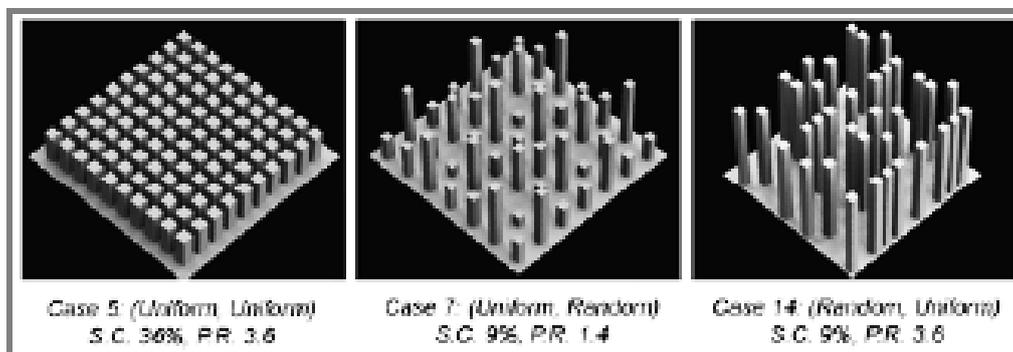


Figure IV.5: Les modèles génériques pour la simulation. Source: Cheng et al, (2006).

Les résultats de cette étude sont illustrés dans les figures (IV.6 : IV.7, IV.8), où les dispositions aléatoires que ce soit au niveau horizontal ou au niveau vertical sont plus

préférables, que les dispositions uniformes, aussi les dispositions de basse densité avec des bâtiments hauts et des espaces ouverts sont plus souhaitables que celles des dispositions plus élevées denses et des bâtiments de hauteurs moins importantes. Tandis que les dispositions uniformes sont à éviter au niveau de la verticalité.



Figure IV.6: La disposition aléatoire horizontale est préférable. Source: Cheng et al, 2006.

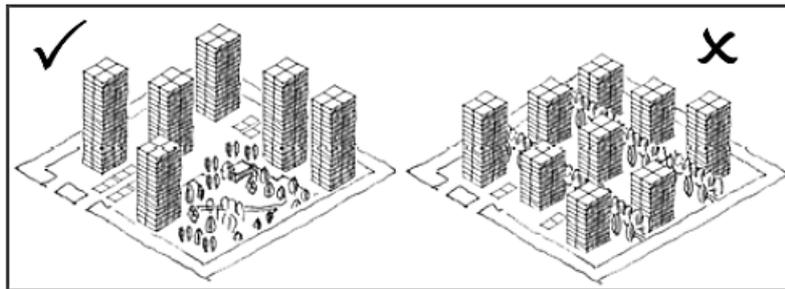


Figure IV.7 : Une basse emprise au sol est préférable. Source: Cheng et al, 2006.

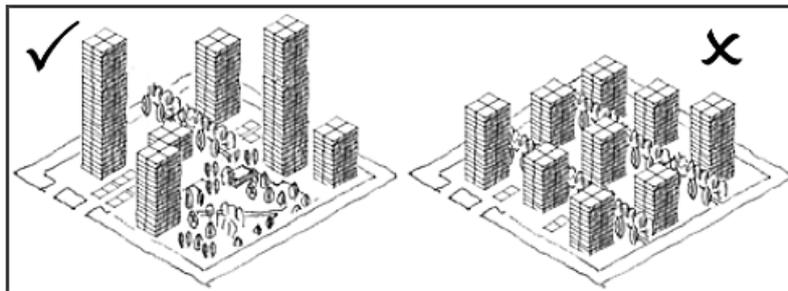


Figure IV.8: La disposition aléatoire verticale est préférable. Source: Cheng et al, 2006.

Comme cas d'étude, il a choisi São Paulo pour l'application de sa recherche pour une rénovation urbaine, caractérisée par une densité urbaine relativement élevée et des constructions serrées et l'espace ouvert très rare.

La proposition de **Chang** pour une même surface habitable mais pour une meilleure performance du potentiel lumineux et solaire ; cette proposition est illustrée dans la figure (IV.9).

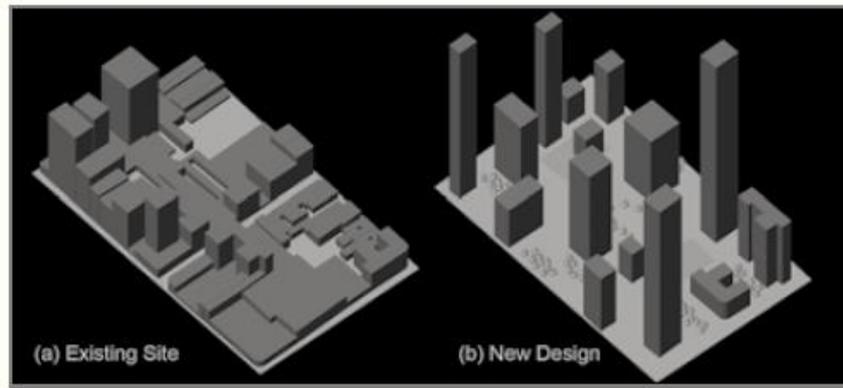


Figure IV.9: La nouvelle position pour le cas de São Paulo. Source: Cheng et al, 2006.

Arboit et al (2008) ont mené une étude pour évaluer le potentiel solaire des milieux urbains de faible densité à Mendoza, Argentine. Ils ont pris 32 échantillons de blocs urbains des zones résidentielles, puis paramétrer la forme du bâtiment et celle de son environnement, y compris des facteurs tels que les vitrages de bâtiments, des arbres et de la largeur de la rue. Ils ont montré que, grâce à la mise en œuvre d'une série d'améliorations sur bâtiments existants (essentiellement grâce à l'amélioration de la conservation de l'énergie et l'augmentation la taille des fenêtres faisant face au nord (situer à l'hémisphère sud) l'énergie solaire pourrait être utilisée pour compenser autant que 34% de la demande d'énergie thermique existante. Grâce à l'analyse statistique des variables étudiées, les auteurs ont conclu que les avantages fournis par les forêts urbaines au cours de l'été, compensent largement la perte de la ressource solaire causée par des branches des arbres pendant l'hiver.

Par ailleurs *Boyer, J (2009)* ; considère que le potentiel énergétique d'une ville ou de plusieurs bâtiments peut être évalué relativement à des quantités d'énergie solaire atteignant les surfaces d'enveloppe de ces mêmes bâtiments. En effet, dans le bilan énergétique d'une surface urbaine, les échanges radiatifs de courtes longueurs d'onde représentent souvent en valeur absolue la composante la plus forte, à partir du lever du soleil. On constate en outre que les puissances reçues par les façades Sud, Sud-Est et Sud-Ouest des bâtiments sont des sources d'énergie facilement utilisables au moment où l'on en a le plus besoin, car les pics annuels de réception correspondent aux pics annuels de demande de chauffage.

Le rayonnement solaire est finalement un flux de chaleur positif pour le bâtiment, il ne peut être néfaste qu'en été.

5. L'EFFET DE LA GEOMETRIE URBAINE

Le rapport d'aspect ou le profil de la rue est défini par trois principaux paramètres géométriques : la hauteur des bâtiments (H), la largeur (W) et la longueur (L) de la rue ainsi que l'orientation qui est définie par son axe longitudinal.

Il est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments et la largeur de la rue. Ces paramètres influent directement sur l'absorption et l'émission du rayonnement solaire. (*L. Shashua-Bara et M. E. Hoffman ; 2003*).

Un canyon de la rue se réfère à l'espace qui est formée par deux rangées généralement parallèles de bâtiments séparés par une rue et il crée l'unité de base des villes modernes (*K.Syrios et G. R. Hunt; 2008*) ; sa géométrie est exprimée par son rapport d'aspect.

Si ce dernier est d'environ égal à 1, il est appelé un canyon uniforme. Un canyon avec un ratio inférieur à 0,5 est un canyon peu profond; et le rapport d'aspect de 2, représente un canyon urbain profond.

Il a été prouvé que la géométrie et l'orientation de la rue canyon affectent l'environnement extérieur et intérieur, l'accès solaire à l'intérieur et l'extérieur des bâtiments, de l'ensemble du système urbain. (*Ali-Toudert.F et H. Mayer ; 2006*). Par conséquent, la conception de la rue influe sur le confort thermique au niveau des piétons ainsi que la consommation d'énergie globale de bâtiments urbains. (*Nastaran Shishegar ; 2013*).

La géométrie ainsi que la configuration des espaces extérieures et précisément des rues a toujours été différente même au sein d'un même quartier donnant l'exemple de la hiérarchie des rues dans le tissu urbain traditionnel de la ville Biskra (de rue, ruelle et impasse) avec des largeurs et des hauteurs hétérogènes.

Boyer, J. (2009) ; trouve que pour évaluer les apports énergétiques solaires réels avec des outils de simulation, la connaissance de la géométrie et de la nature des surfaces environnant le bâtiment étudié est indispensable. En effet, pour accéder à l'ensoleillement d'une surface réceptrice, il faut détecter l'éventuelle présence de masques, variable au cours de la journée.

Ali-Toudert et Mayer (2007) ont élaboré une étude sur l'impact de l'irrégularité des façades sur le confort thermique au sein d'une rue canyon, par le biais de la simulation numérique à l'aide du logiciel ENVI-Met. Le confort thermique a été évalué par le biais de la température physiologique équivalente (PET). L'échantillon d'étude composé de trois rues

canyons présentant toutes des galeries piétonnes. La première rue comporte des façades homogènes et symétriques avec un rapport ($H/W = 2$) Figure (IV.10, cas I), la seconde est asymétrique avec une façade en gradins (Fig. IV.10, cas II) et la dernière configuration est composée de deux façades différentes avec des dispositifs de surplomb (balcons ou terrasses par exemple) (Fig. IV.10, cas III). Durant la journée, le pourcentage des zones confortables d'été dans les surfaces couvertes de galerie de la rue symétrique (cas I), est supérieur à celui obtenu au milieu de la rue en raison de sa durée d'ensoleillement élevée. Ce qui est étroitement lié au rapport géométrique H/W de la rue et aux dimensions des galeries (hauteur et largeur).

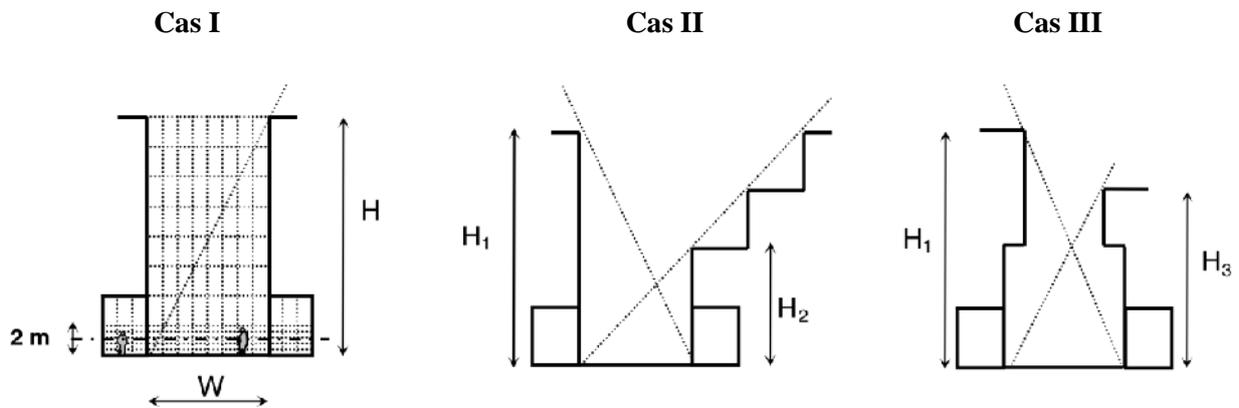


Figure IV.10: Les configurations étudiées. Source : Ali-Toudert et al., (2007).

D'après les chercheurs cela est dû à la faible ventilation des galeries par rapport à la rue et à leur capacité de piégeage de la chaleur émise par le sol revêtu d'asphalte. Par ailleurs, dans la rue asymétrique, la façade en gradins (cas II) marque des températures plus élevées en raison de sa grande ouverture vers le ciel, et qui entraîne un captage de l'énergie solaire plus important que dans la configuration symétrique (cas I). En revanche, lorsque les rayons solaires sont obstrués par les façades, la rue asymétrique présente un meilleur confort thermique que le (cas I). Le meilleur confort est obtenu par le (cas III) dont les façades surplombant la rue, ainsi que la morphologie de la rue représente le plus faible facteur de vue de ciel et qui garantit un maximum d'ombrage dans la rue.

5.1. L'effet des proportions des rues

Selon les études les plus connexes, les paramètres de la géométrie de la rue canyon (hauteur-largeur rapport (H / W)) et l'orientation de la rue sont les paramètres urbains les plus pertinents responsables des changements microclimatiques dans un canyon (*Todhunter. P. E; 1990, Arnfield. J et Mills.G; 1994*). Ces paramètres influent directement sur le potentiel du

flux d'air, l'accès solaire au niveau de la rue et donc microclimat urbain de celle-ci. (*Oke et al.; 1988, Arnfield. J et Mills.G; 1994*).

Aida et Gotoh, (1982) ont montré par une étude expérimentale que la quantité de l'énergie solaire incidente absorbée par des rues canyons diminue de 27% à 13 % lorsque le rapport H/W passe de 0,5 à 2. Figure (Fig. IV.11). Un faible rapport H/W engendre un autre phénomène thermique important, à savoir le piégeage de la chaleur au sein de la rue.

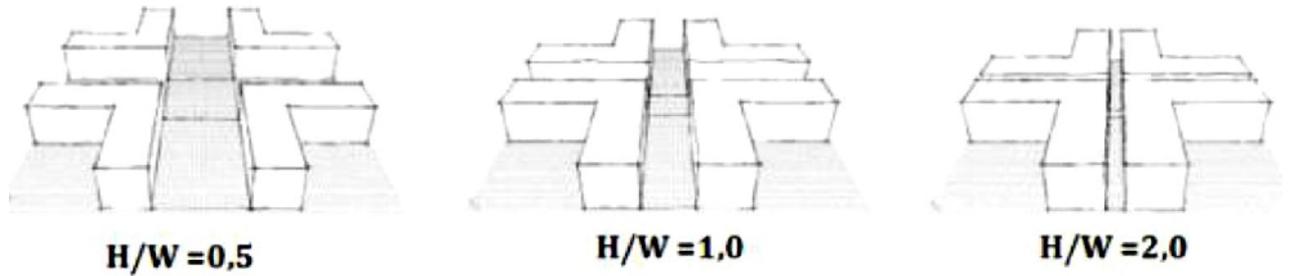


Figure IV.11: Différents rapports d'aspect H/W de rues canyon. Source : *Bougiatioti, 2006*.

Bourbia et Awbi, (2004) ont confirmé aussi qu'un rapport H/W égal à 0,5 reçoit une quantité importante d'énergie solaire directe et les surfaces verticales des bâtiments atteignant un pic de température de surface de 53°C. Ce captage thermique diminue lorsque le rapport H/W est égal à 2 où les pics de température ne dépassent pas 46°C.

Dans une autre étude, *Stromann-et al. (2011)* soulèvent aussi le fait que le ratio entre la hauteur du bâti et la largeur de l'espace entre deux constructions agit sur le rayonnement solaire. Plus précisément, plus ce ratio entre hauteur de bâti et largeur de rue augmente, plus la densité est grande. Et plus cette densité est grande, moins les bâtiments reçoivent de rayonnement solaire. Ils pointent le fait que la quantité de rayonnement solaire incident sur le tissu urbain est inversement proportionnelle à la densité.

Avg. Daily solar radiation, (North-South)

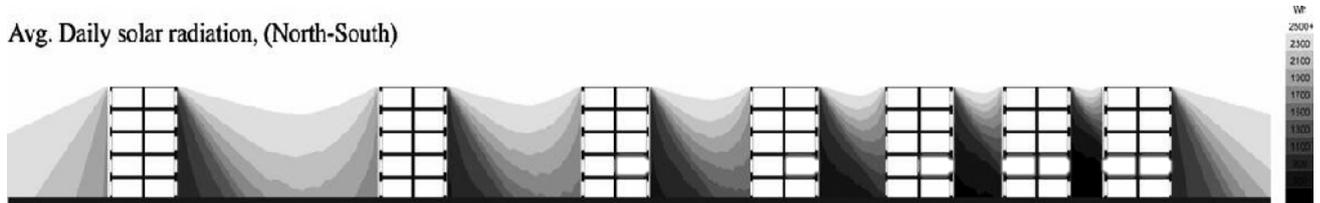


Figure IV. 12 : Le rayonnement solaire quotidien moyen dans une rue canyon ; par Ecotect (heures de travail 08-17, plage de contour 500-2500Wh par étapes de 200 Wh). Source : *Stromann-et al. (2011)*

Ils ont examiné avec une analyse détaillée la répartition du rayonnement solaire et de la lumière dans une gamme de canyons urbains reflétant différentes densités urbaines et démontré comment cette distribution affecte la consommation totale d'énergie sur les différents étages de bâtiments, selon l'orientation. Ils ont démontré que l'occultation n'est pas la seule façon dont les bâtiments affectent la consommation d'énergie de leurs voisins, mais la réflectivité en contribue également. Il a été constaté que la géométrie de canyons urbains a un impact relatif sur la consommation totale d'énergie, ce qui indique que la géométrie urbaine est un facteur clé dans la consommation d'énergie dans les bâtiments.

Donc il convient de soulever plus précisément, plus ce *ratio* augmente, plus *la densité* est grande. Et plus cette *densité* est grande, moins le bâtiment reçoit de rayonnement solaire ; et ce dernier est *inversement* proportionnel à la densité.

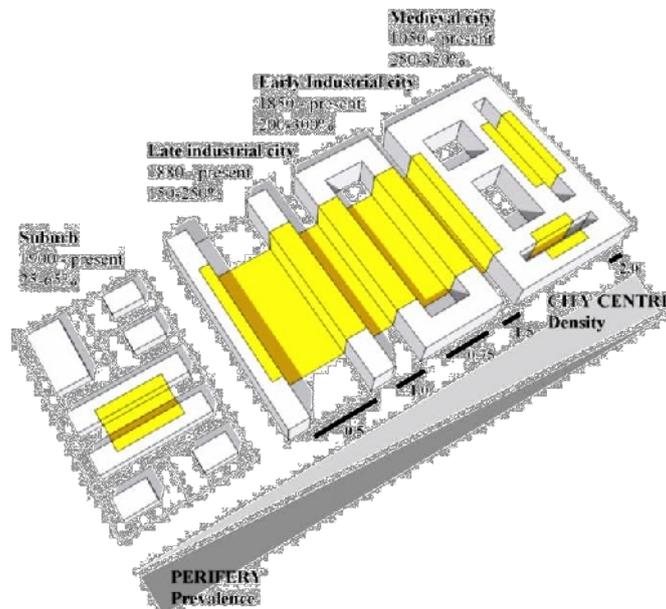


Figure IV.13: Les modèles urbains typiques et les proportions des canyons urbains à Copenhague.
Source : Strømman-et al. , 2011.

5.2. La hauteur des constructions

Il était reconnu depuis longtemps que les rues étroites enroulées les anciennes villes empêche le soleil d'entré. Cependant, le rapport entre les rues et le soleil est complexe et doit être examiné en détail. Il y a deux facteurs principaux qui contribuent à l'interaction entre un plan urbain de rue et le soleil : les dimensions et l'orientation des rues relativement au mouvement du soleil.

La hauteur des bâtiments dans les villes est un paramètre clé de la planification urbaine.

Elle est différente d'un quartier à un autre, d'une ville à une autre, et même au fil du temps a varié. Après la révolution industrielle et avec l'évolution des matériaux de construction, les bâtiments ont connu un changement radical au niveau de leur structure et par conséquent le nombre d'étages a augmenté, les bâtiments sont devenus plus hauts.

Certaines études affirment que la hauteur importante des bâtiments dans les tissus urbains à haute densité, est considéré comme "bonne" en matière d'ombre fournie à l'environnement voisinant, cependant le rayonnement solaire réfléchis suite à la compacité de tissu.

Alors que d'autres études ont montré que plus les immeubles sont hauts plus la consommation énergétique augmente et cela est causé par la réflectivité des façades des bâtiments avoisinants. (*Chung, et all 2011*). Ainsi les architectes ; les urbanistes et les planificateur croient toujours, *Raymond Hood(1920)*¹, qu'afin d'augmenter des densités il est nécessaire de construire plus haut. La comparaison faite sur la figure (IV.14) prouve que cette conviction doit être sérieusement remise en cause et soigneusement qualifiée. (*Martin& Mars, 1972*).

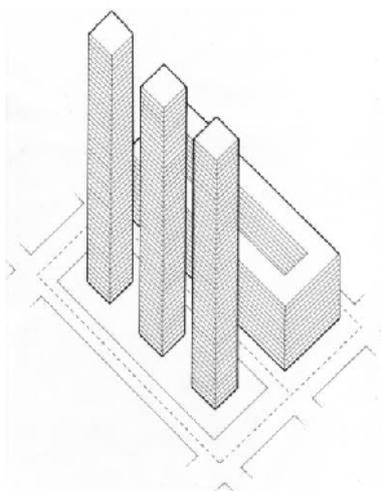


Figure IV.14: Représentation du rôle de la hauteur des bâtiments; un même COS de 5,7 des deux cas. Le CES diffère et est de 11% et 44%, respectivement, ce qui influe sur la densité. Source: Philip Steadman ; 2013.

L'étude de *Philippe Rode et al (2014)*, sur les quatre plus grandes métropoles européennes a affirmé que la hauteur moyenne des bâtiments a été trouvée parmi les meilleurs indicateurs de la performance de la demande d'énergie thermique.

Paris montre les plus grandes hauteurs moyennes, avec plus de la moitié des morphologies des échantillons ayant plus de 6 étages. Inversement, Londres démontre les plus

¹ Dans les années 1920 l'architecte américain Raymond Hood, concepteur de l'immeuble de bureaux de déco, a publié une série de propositions pour une «ville de Tours», des tours avec une idée de libéré le sol pour la circulation et les propriétés public, entre autre avoir le droit de construire plus haut. (Philip Steadman, 2013).

faibles hauteurs moyennes, avec plus de la moitié, ayant moins de 4 étages. Une différence correspondante de la demande d'énergie thermique est considérée, avec des blocs urbains compacts parisiens atteignant seulement 30 kWh, tandis que la morphologie équivalente à Londres atteint 70 kWh à son plus bas.

Ainsi la hauteur importante des bâtiments donne la sensation et l'impression d'une forte densité, mais cela n'est pas toujours vrai, et comme nous avons déjà vu on peut avoir une même densité avec un même (COS) mais un (CES) différent (avec différentes hauteurs).

Mais la hauteur des bâtiments seuls ne contribue pas beaucoup à la compréhension de la densité et de la forme urbaine ou à la relation entre les deux.

En effet ce dernier constitue un facteur important dans les études urbanistiques qui permet la distinction des quartiers, la planification, l'aménagement et l'étude du profile H/L pour des études de confort extérieur et des applications énergétiques.

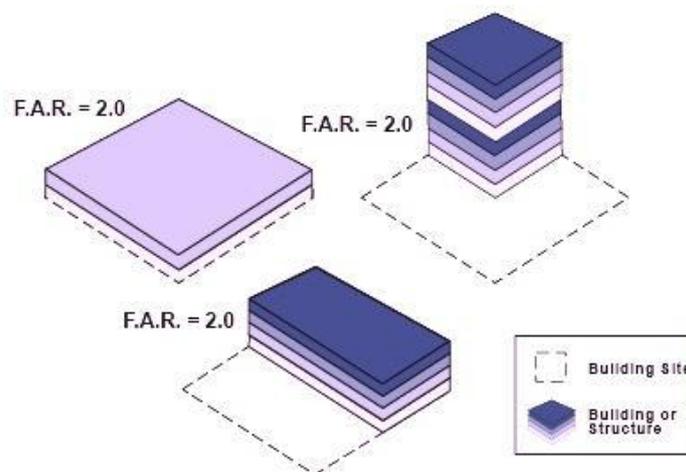


Figure IV.15: Représentation de la hauteur des bâtiments avec un même COS. Source: URL [<http://nareshbharde.com/blog-details.php?bid=17>]; (consulté le 3/04/2015 à 19h10).

La hauteur des constructions joue un rôle considérable sur la quantité de l'énergie solaire incidente au sein du tissu urbain, ce qui a fait l'objet d'étude de plusieurs chercheurs entre autre l'étude numérique de *Kondo et al.*, (2001) , en variant les hauteurs de trois configurations différentes ont montré que, la quantité d'énergie solaire absorbée est plus grande pour les configurations qui ont des hauteurs hétérogènes. La première configuration avec une hauteur homogène de 25 m (à gauche, fig.IV.16). La seconde et la troisième, avec des hauteurs de bâtiments variées (à droite, fig.IV.16), mais les pourcentages de bâtis étaient homogènes. Pour eux cela est dû à la fraction des flux réfléchis par les toitures est capté par les parois verticales adjacentes plus hautes, augmentant ainsi les inter-réflexions et par

conséquent la quantité d'énergie solaire absorbée. *Chimklai et al., (2004)* ont confirmé aussi que la quantité d'énergie solaire réfléchi est dépendante de la variation de la hauteur des constructions.

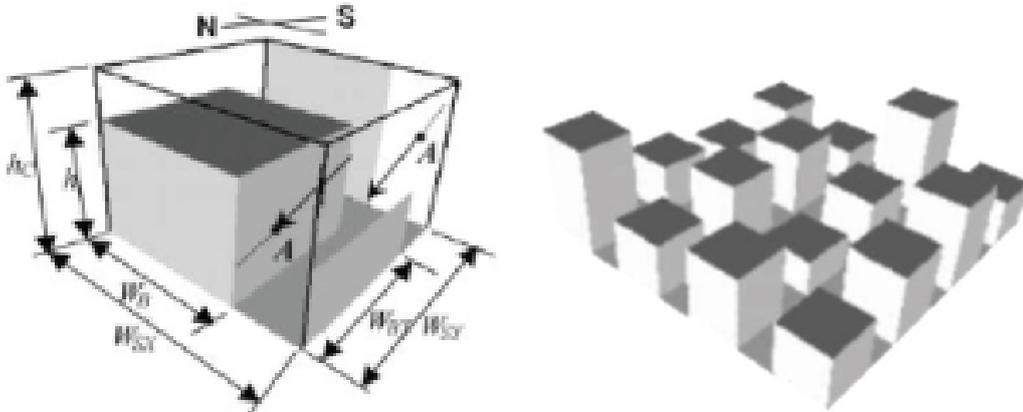


Figure IV.16: De gauche à droite: le modèle de bâtiment en forme de carré utilisé pour l'étude numérique ; la seconde configuration d'étude présentant des hauteurs différenciées. Source : *Kondo et al., 2001*.

Cheng et al. (2006) ont étudié l'impact de disposition aléatoire et la hauteur des bâtiments à haute densité urbaine. En variant de façon indépendante l'aspect aléatoire de la position et de paramètres de hauteur dans leur modèle, ils ont conclu que l'aléatoire tant dans la dimension verticale et horizontale est bénéfique pour accroître l'accès solaire globale aux édifices et l'espace environnant, avec un facteur de différence de 3 étant observées dans certains cas.

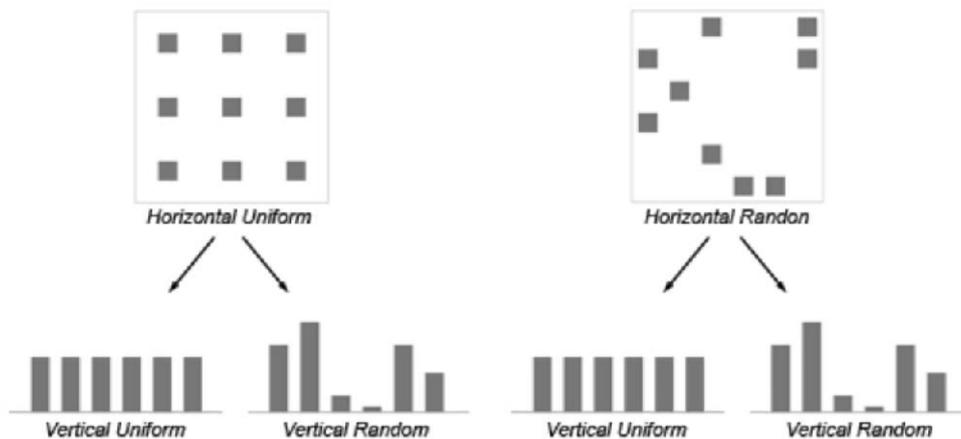


Figure IV.17: Les dispositions des configurations proposées pour l'étude : (Uniforme-Uniforme) (Uniforme-Aléatoire) (Aléatoire-Uniforme) (Aléatoire-Aléatoire). Source: *Cheng et al. (2006)*

6. L'EFFET DE L'ORIENTATION

Prendre en compte les facteurs climatiques comme l'ensoleillement et les vents dominants est une question primordiale au concepteur au cours du processus de la conception du projet que ce soit urbain ou architectural ce qui implique de prêter attention à l'orientation afin d'obtenir une meilleure implantation du bâtiment ainsi les dépenses d'énergie.

D'un point de vue climatique, l'impact de l'orientation solaire a fait l'objet de plusieurs études. D'après *Athamena.A (2012)* *“L'orientation d'un tissu urbain est un paramètre spatial permettant d'analyser l'accessibilité de l'énergie solaire et de la lumière du jour au sein d'un tissu urbain. Elle engendre des surfaces ombragées et ensoleillées entraînant des variations des températures ambiantes et de surfaces. Morphologiquement, cet indicateur produit des formes de protection ou d'exposition solaire dans les espaces urbains. Ces protections sont souvent efficaces, uniquement en début et en fin de journée, en fonction de l'orientation du bâtiment. En effet, lorsque le soleil est au zénith, les surfaces ombragées sont très réduites”*.

Par ailleurs, selon, *Ali-Toudert & Mayer, (2006)* le confort thermique urbain est presque indépendant de l'orientation, lorsque le rapport d'aspect de la rue est de $H/W=0.5$. En revanche, lorsque le rapport H/W est égal à 4, sur les deux orientations Est-Ouest et Nord-Sud, le confort est optimal de façon identique, fournissant ainsi un environnement thermique meilleur.

En outre, la forme et l'orientation des constructions est une variable importante dans leur capacité à absorber l'énergie solaire passive utile. (*Philipp Rode et al 2014*).

Arnfield (1990) a étudié les impacts de la géométrie et l'orientation de la rue sur l'accès solaire dans différents canyons urbains en utilisant une méthode numérique. Le but de cette étude était de découvrir la dépendance des irradiances sur le rapport et l'orientation sur les façades du canyon (murs et le sol).

Arnfield a découvert que l'orientation de la rue est plus affective sur la quantité d'énergie solaire obtenue par des murs et le rapport H/W qui influencent de la disponibilité de l'énergie solaire au sol. En outre, l'impact de l'orientation est plus important en été qu'en hiver.

Pour des latitudes plus élevées, la position du soleil est plus faible en hiver et crée des obstacles solides. Ainsi, les irradiances se réduisent pour les hautes latitudes et cela est particulièrement évident pour l'orientation Est/Ouest. Les effets de rapport H/W et de l'orientation des rues sur l'énergie solaire reçue par sol et autres surfaces de la rue sont plus

importantes dans les latitudes 20°- 40° dans les différentes saisons. Cela montre que dans les régions de climats subtropicales, la géométrie de la rue est plus importante pour le contrôle solaire.

D'un autre côté l'étude élaborée par *Bellara Louafi.S et Abdou.S* (2010) sur l'impact de l'orientation a montré que la prise en compte du critère orientation fait participer le bâtiment à une conception plus performante thermiquement et plus économe énergétiquement. La simulation effectuée par le logiciel TRNSYS (version 14.1) a démontré la relation qui lie la quantité d'énergie absorbée par la paroi avec la température intérieure, qui dépend étroitement de l'orientation. La consommation énergétique est en fonction de l'orientation.

7. L'EFFET DE L'OMBRE

Un des problèmes majeurs des effets complexes, est la dynamique d'ombrage sur des surfaces de bâtiments. Quelques analyses préliminaires pendant les premières phases de conception pourraient éviter l'effet de réduction de disponibilité solaire, qui influence le potentiel de systèmes solaires, aussi bien que la lumière du jour et la performance thermique de bâtiments ainsi que le potentiel de PV et d'autres sources d'énergies renouvelables. (*Lobaccaro. G & all, 2014*).

Une recherche élaborée par *Lobaccaro.G & Frontini. F* (2014) sur la densification urbaine et l'effet de l'ombre qu'elle crée sur l'enveloppe des bâtiments avoisinants, afin de développer une nouvelle approche de planification urbaine solaire durable. Les résultats obtenus à partir d'un ensemble de simulations démontrent l'effet d'occultation créé par les reliefs, montrant leur influence sur la réduction de la disponibilité solaire. Alors que dans les travaux antérieurs de la contribution de la réflexion au sol était toujours positif.



Figure IV.18: Localisation du site. Source: *Lobaccaro.G et Frontini. F* ;2014.

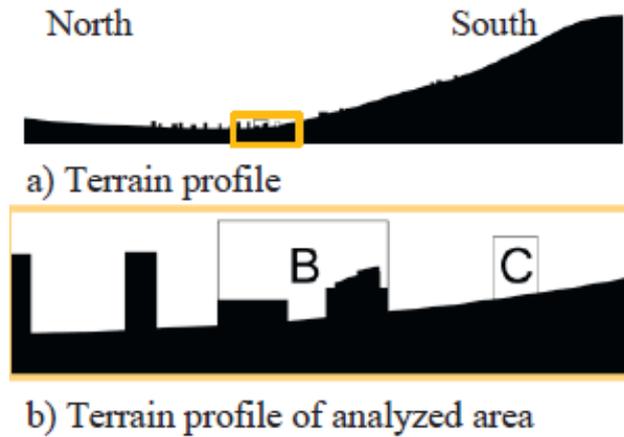


Figure IV.19 : *Profile des reliefs du terrain (a) et du site analysé (b). Source : Lobaccaro.G et Frontini. F ; 2014.*

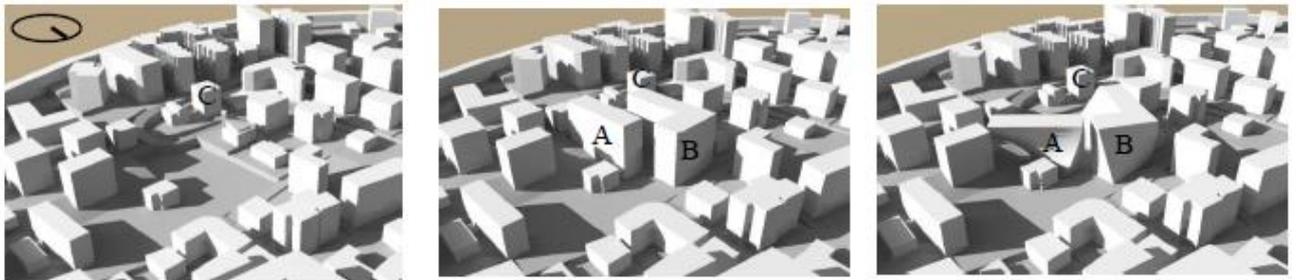


Figure IV.20: *De gauche à droite : le scénario initial, scénario de conception actuelle, scénario de conception optimisée. Bâtiment existant: C; Nouveaux bâtiments: A et B. Source : Lobaccaro.G et Frontini. F ; 2014.*

Un test effectué sur le même cas d'étude en utilisant les données météorologiques de Sydney (Australie), a démontré que la modification de l'emplacement augmente également le niveau du rayonnement solaire, ainsi que l'effet de la perte mensuelle de la disponibilité solaire. En outre, l'étude a démontré que les effets complexes qui obscurcissent liées au site produisent une variation, en termes de disponibilité solaire, sur tous les bâtiments, selon la hauteur, la direction de l'exposition et l'emplacement dans le site.

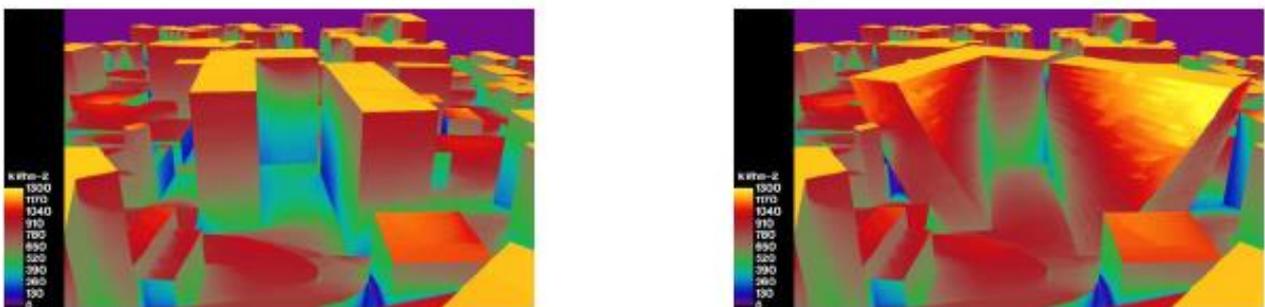


Figure IV.21: *De gauche à droite : le solaire analyse de la carte sur les nouveaux bâtiments dans le scénario de conception actuelle et le scénario de conception optimisée. Source : Lobaccaro.G et Frontini. F ; 2014.*

Une étude menée par *Strømman-et all, (2013)* a démontré que la minimisation de l'auto-ombrage a un effet notable sur la consommation d'énergie pour le chauffage par le bloc très dense. En revanche, dans **le bloc tordu**, sous forme de "X" au milieu augmente l'auto-ombrage de la cour profonde à l'extrémité Nord, en abaissant considérablement les performances de la lumière du jour de chambres sur les niveaux inférieurs auxquels elle est confrontée. Les résultats présentés ici indiquent que la conception de base de la typologie est capable de réduire les charges d'énergie.

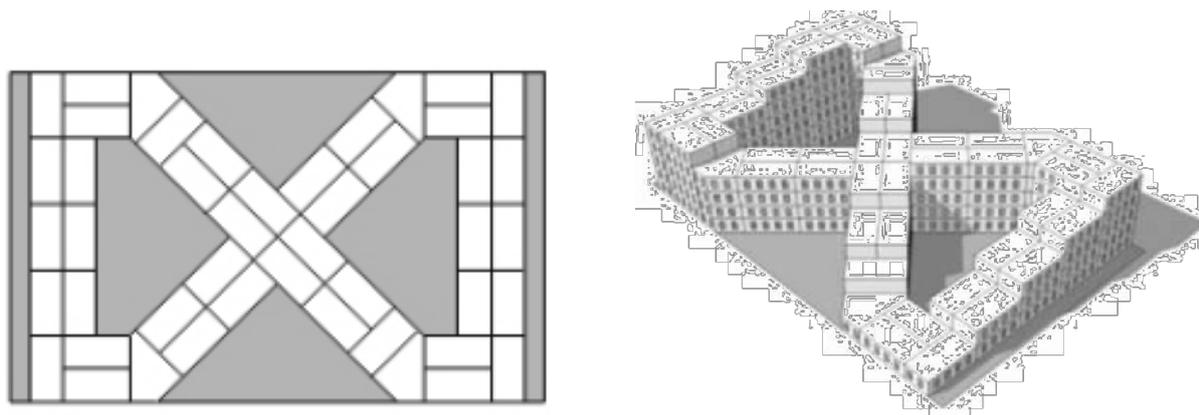


Figure IV.22: Représentation d'un bloc tordu. Source : *Strømman-et all, 2013*.

8. LE FACTEUR DE VUE DE CIEL

Le facteur de vue du ciel correspond à la portion de ciel observable à partir de la surface considérée (*Colomberte, 2008*). Ce facteur ne dépend ni de la latitude, ni de l'orientation, ni même du moment de l'année, mais seulement de la géométrie de l'espace. Ce facteur permet d'évaluer le niveau du confort visuel et d'éclairage naturel des espaces intérieurs et extérieurs (*LEESU*)².

C'est un paramètre sans dimension compris entre 0 et 1 (*Oke, 1988*). Il détermine les échanges de chaleur par rayonnement entre le lieu considéré et le ciel. Un SVF égal à 1 signifie que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction (champ sans relief). Par conséquent, le rayonnement solaire sera très intense. En revanche, un SVF égal à 0 signifie que, la vue du ciel est totalement obstruée et que le rayonnement solaire sera ainsi fortement occulté.

Selon *C.Mahaya (2014)* plusieurs méthodes pour déterminer les périodes d'occultation du rayonnement solaire parmi lesquels la plus utilisée dans le domaine éducatif est la superposition du diagramme solaire (résultat de la projection sphérique équidistante) et de la

² LEESU: Laboratoire Eau Environnement Système Urbain.

photo *fisheye*³. Cette procédure permet d'obtenir les masques existant sur un site sans avoir à effectuer de fastidieux relevés. La figure ci-contre (IV.23) montre un environnement urbain avec des obstructions. La surface en jaune sur le diagramme représente les périodes effectives d'ensoleillement du site tout au long de l'année. (CETE, 2005)

Visuellement, un plus grand facteur de vue du ciel procure un sentiment d'ouverture qui s'est avéré être un facteur important pour les usagers des espaces ouverts.

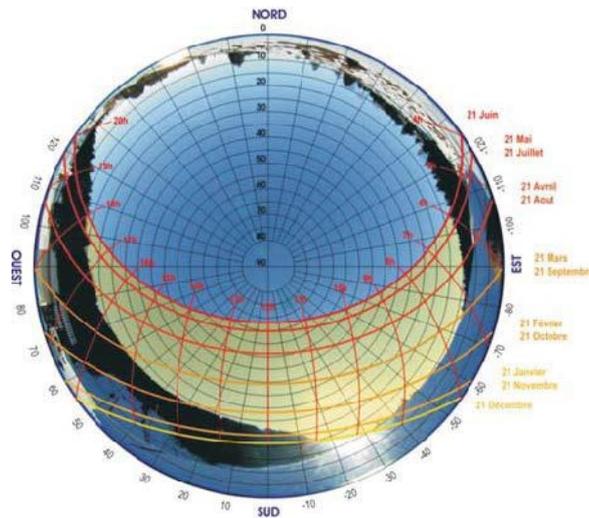


Figure IV.23: Procédure d'évaluation de l'ensoleillement direct d'un site: superposition du diagramme solaire et de la photo *fisheye*. Source: CETE, 2005.

Ratti & al., (2003) ont montré l'existence d'un lien étroit entre le SVF et les températures des surfaces urbaines, en étudiant numériquement trois configurations différentes dans les régions chaudes et arides. La première présente des formes géométriquement fermées avec des cours intérieures **A**, similaires aux formes urbaines observées dans les anciens centres villes européens. Dans la seconde configuration, des formes compactes **B**. (Les deux configurations présentent une densité surfacique bâtie élevée et des rues étroites). La troisième configuration présente un tissu ouvert avec des formes aérées représentatives des formes pavillonnaires **C**.

Les résultats montrent que les formes avec des cours intérieures présentent les valeurs les plus faibles du SVF de l'ordre de 0,13, alors qu'il est de 0,23 pour les formes compactes et de 0,48 pour les formes pavillonnaires. Les températures de surfaces les plus élevées sont obtenues pour les formes pavillonnaires avec des valeurs de l'ordre de 40,5°C. Cette valeur maximale est supérieure de 5,3°C par rapport aux formes compactes et de 8,6°C par rapport

³ Une photo "*fisheye*" est une photo prise à l'aide d'un objectif ultra grand-angle permettant des prises de vue à 180° de champ. Prise en lieu et place du futur bâtiment, elle représente donc une projection sphérique du site réalisée par un observateur regardant le zénith (couché sur le sol).

aux formes fermées avec des cours intérieures. **Ratti & al., (2003)** suggèrent alors d'ouvrir les tissus urbains afin de favoriser la dissipation de la chaleur et d'éviter ainsi les risques d'inconfort thermique dans ces espaces. Par ailleurs la densité des zones urbaines affecte largement la Sky View Factor (SVF).

Dans une étude comparative de deux sites urbains en Suisse celui de Matthaeus et de Meyrin, **R. Compagnon & all (2006)** trouve que le caractère urbain des deux sites est responsable d'une réduction significative du facteur de vu de ciel.

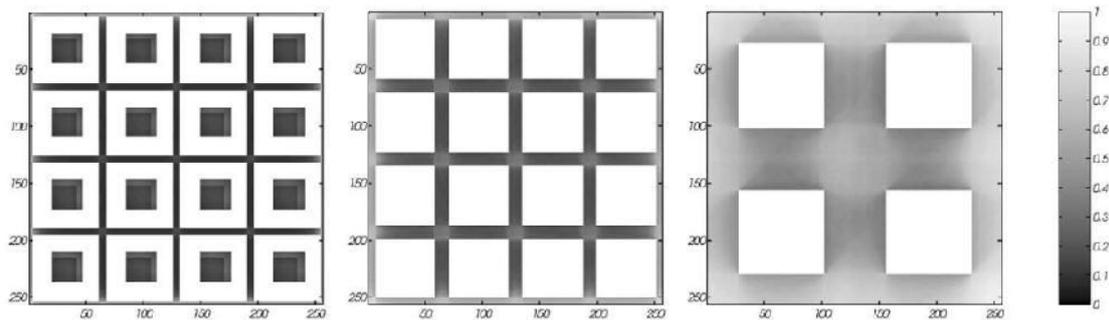
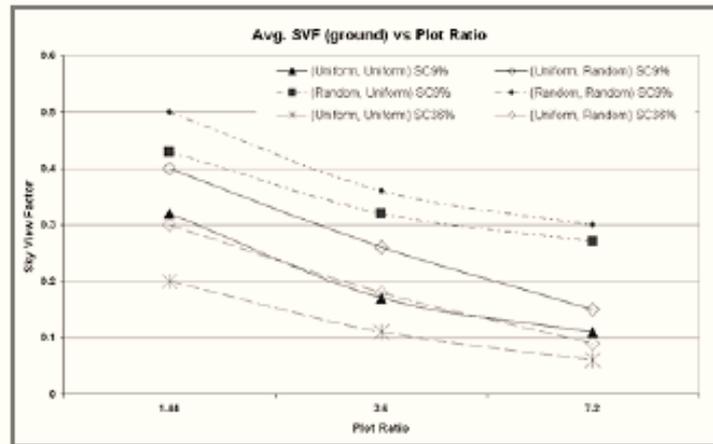


Figure IV. 24: Le facteur de vue du ciel des rues pour les trois configurations étudiées. Formes fermées avec cours intérieures (A), formes compactes (B) et formes pavillonnaires (C). Source : Ratti et al., 2003.

Dans la précédente étude (voir §4.2, p117) **Cheng et al. (2006)** ont trouvé que le SVF au niveau du sol diminue avec l'augmentation de COS et du CES aussi la disponibilité de la lumière du jour et le photovoltaïque sur les façades, ainsi la densité affaiblie la disponibilité des deux premiers tandis que la compacité affaiblie le dernier.

Ils affirment que le potentiel solaire, le facteur de lumière du jour et le facteur de vue du ciel et le photovoltaïque sur les façades dépendent du COS et du CES, il est possible de profiter de l'ouverture de ciel en augmentant l'utilisation du sol et sa densité et cela dépend de la disposition et l'agencement des blocs bâtis.



Graph IV.3: La moyenne du facteur de vue de ciel au niveau du sol. Source: Cheng et al. ,2006.

D'une autre part, **Raphaël Compagnon (2004)** cherchait à développer une méthode permettant de lier rayonnement solaire et les formes urbaines. Sa méthode repose sur la modélisation 3D de tissu urbain et sur l'utilisation du *Sky Model* de **Richard Perez & al (1990)** permettant de calculer le rayonnement solaire incident. (La méthode sera expliquée par la suite dans le chapitre V § 1.1.3, p142).

CONCLUSION

A travers cette panoplie de travaux de recherches présentées on a pu déceler le rôle que jouent la configuration urbaine et son impact sur l'accès solaire ; ainsi que sur l'exploitation et l'application des systèmes solaires, qui vont nous servir dans la deuxième partie analytique de notre travail.

Ce chapitre forme les orientations de base pour la bonne compréhension des effets générés par la configuration urbaine sur l'exploitation du gisement solaire, représentant un état de l'art des différentes recherches, les solutions et les recommandations proposées par ces travaux liés à la question d'ensoleillement dans un milieu urbain avec ces différentes dimensions sont aussi discutées, dont ces derniers ont varié au fil du temps et avec l'évolution de la recherche et les changements du contexte urbain ainsi que le lieu dans lequel il appartient.

Ce qui est bien clair dans cette gamme de travaux de recherches ci-dessus ; plus la densité du tissu urbain est grande, plus le rayonnement solaire incident est faible. Il semble aussi que les bâtiments situés dans un tissu dense reçoivent moins de rayonnement que des bâtiments situés dans un tissu moyennement ou peu dense.

La densité sera la question clé de notre travail ; sur laquelle l'accent sera porté ; afin d'évaluer son impact sur l'exploitation du gisement solaire et sur son application dans les différents systèmes solaires.

Dans le chapitre qui suit on va aborder quelques méthodes d'évaluation du gisement solaire dans un milieu urbain ainsi que les outils d'aide à l'évaluation.

CHAPITRE V

METHODE D'EVALUATION DU GISEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION

Les premiers travaux sur le sujet de la planification de l'énergie solaire impliquaient l'utilisation de méthodes de calcul manuelles approximatives, pour conseiller sur l'aménagement du site sur l'accès solaire. Avec l'amélioration de la conception de puissance de calcul et beaucoup d'interface de ces méthodes ont été développées sous forme logiciel, bien que la base des calculs sous-jacents est resté assez approximative. Cependant, des méthodes beaucoup plus sophistiquées de "Simulation numérique" ont récemment été mis au point dans le domaine de l'infographie. Ces programmes de simulation numérique fournissent une base pour représenter une distribution ciel de luminosité réaliste, ainsi que le soleil et les effets de réflexions multiples (à la fois diffus et spéculaires) arbitraire des obstacles urbains de complexité. *Compagnon et all (2006)*.

Dans ce qui suit on va essayer d'aborder quelques outils techniques et méthode d'évaluation d'irradiation solaire afin de déceler la plus approprié aux objectifs de la présente étude.

1. METHODE D'EVALUATION DE RAYONNEMENT SOLAIRE

De tous temps et dans toutes les civilisations l'accès solaire a joué un rôle important dans la production de la ville. La connaissance des phénomènes d'ombrage et de l'accès solaire permettent une meilleure maîtrise du fonctionnement des bâtiments et de leur interaction avec le milieu environnant ou encore dans le but d'optimiser par exemple le calcul des protections solaires ou bien l'implantation des systèmes solaires. La connaissance de la géométrie solaire est importante pour une bonne maîtrise de ces phénomènes.

De nombreuses méthodes se sont développées et utilisés à ce propos au fils du temps, dans ce qui suit on va essayer de présenter quelques méthodes pour qu'à la fin on sélectionne la plus propice pour notre investigation.

1.1. Les types de méthodes d'évaluation

Différentes méthodes ont été développées par plusieurs chercheurs pour l'évaluation du gisement et du potentiel solaire dans l'intérêt de leurs exploitations dans différentes applications solaires. On va essayer de présenter ci-dessous quelques méthodes qui traitent le même sujet afin d'en choisir une qui s'avère la plus approprié à nos objectifs.

1.1.1. La méthode d'évaluation à base d'image

Afin d'identifier facilement en milieu bâti (de l'échelle de la ville à celle du quartier) les toitures les mieux adaptées à une valorisation solaire ; l'École polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et le Politecnico di Milano, ont développé un outil permettant d'évaluer de façon automatisée l'irradiation solaire des toits et le potentiel de production énergétique d'installations photovoltaïques qui pourraient y être installées, en tenant compte de la morphologie des bâtiments et du site (ombrages).

L'étude de *Gilles Desthieux et al (2014)* sur un quartier de bâtiments commerciaux situés à Grancia présenté Une démarche basée sur l'outil SIG-Solaire qui permet d'évaluer l'irradiation solaire sur le territoire à différentes échelles pour fournir une analyse préliminaire en vue de projets d'installations solaires. Un outil intégré, basé sur les techniques de photogrammétrie, de SIG¹ et d'analyse d'image, pour évaluer en tout point d'un territoire donné l'irradiation solaire tenant compte des ombrages.

¹ SIG : système d'information géographique

grâce à la reconstitution précise du territoire et du bâti à travers un modèle numérique de surface 3D (MNS 3D). La construction du MNS 3D par une approche hybride, a été basée sur ; la restitution vectorielle des bâtiments à partir d'images aériennes permettant de construire un modèle 3D constitué de points, de lignes de structure et de lignes de rupture ; et les relevés d'altitude aéroportés réalisés en utilisant des techniques de télédétection par laser (LIDAR²).

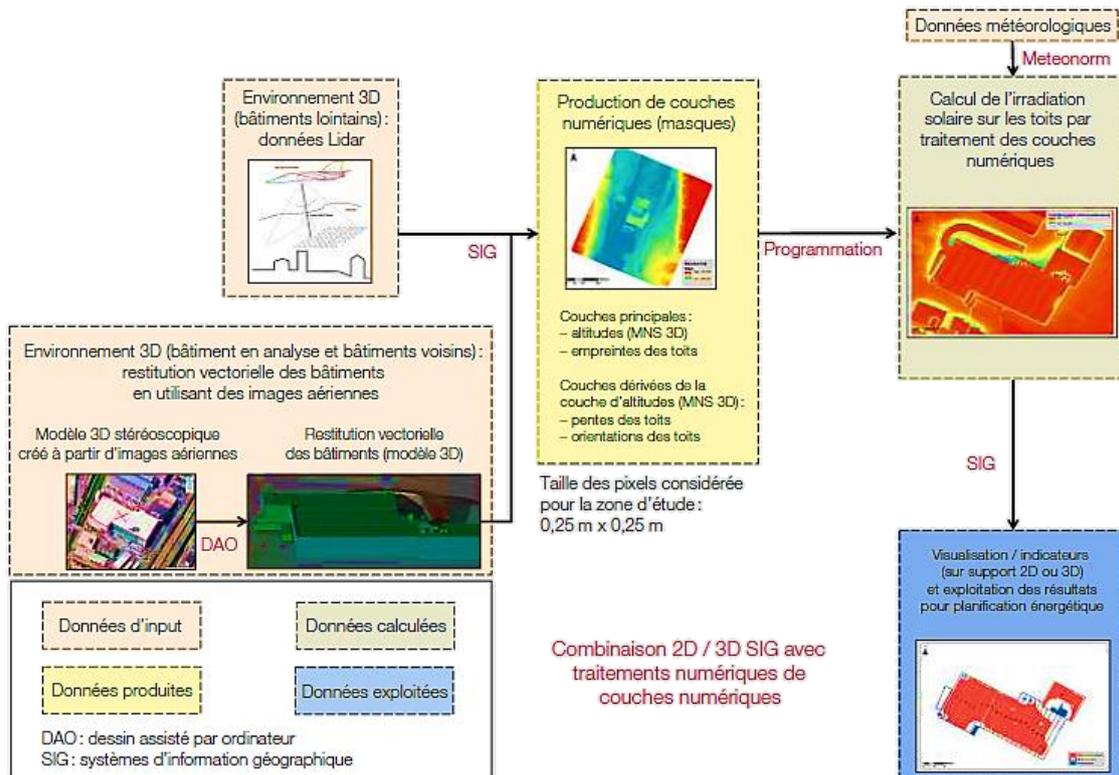


Schéma V.1 : Organigramme synoptique de la démarche utilisée et des outils pour calculer l'irradiation solaire sur le territoire. Source: Gilles Desthieux et al ; 2014.

Les résultats d'irradiation sont ensuite traités dans des outils SIG (ArcGIS) pour produire des indicateurs utiles à la planification ; des valeurs d'irradiation brute annuelle et mensuelle (numérique); des courbes d'iso-irradiation, tenant en compte des ombres portées.

Les algorithmes utilisés pour calculer les facteurs d'ombrages sont issus de la thèse de **C. Ratti (2004)**. L'irradiation est calculée sur chaque pixel du site pour la totalité de l'année et séparément pour chacun des 12 mois.

Les résultats ont été analysés à partir de d'ombre portée selon les périmètres proches et lointains (reliefs). (Fig. V.2)

² LIDAR: Light Detection and Ranging.

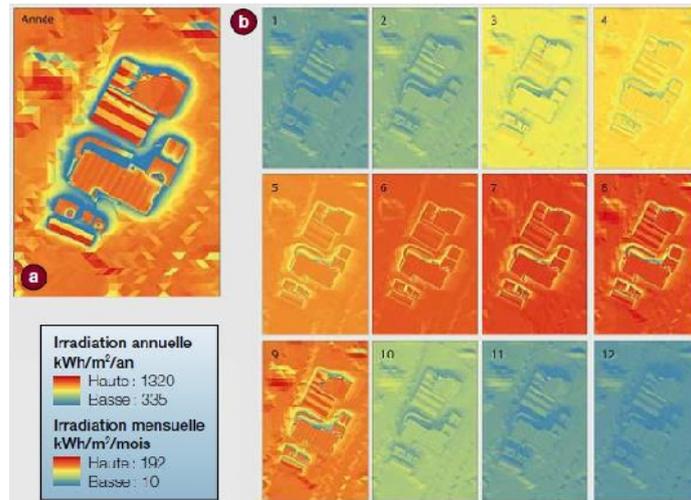


Figure V.1: Irradiations brutes annuelle (a) et pour chacun des 12 mois (b) sur la toiture principale et le voisinage. Source : Gilles Desthieux et al ; 2014.

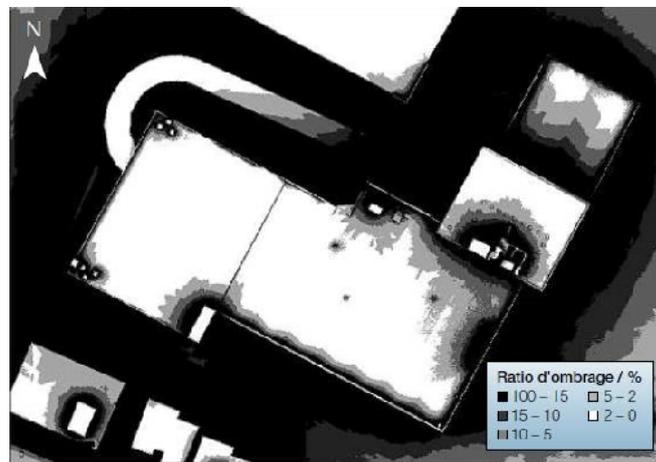


Figure V.2: Ratio d'ombrage. Source: Gilles Desthieux et al ; 2014.

Une investigation de *Amado Miguel, Poggi Francesca(2013)* ont proposé une méthodologie basée sur **une approche paramétrique** de quantifier le potentiel de l'énergie solaire à partir de systèmes photovoltaïques dans le contexte urbain, et de sa gestion en utilisant les réseaux intelligents afin de soutenir les pratiques de planification urbaine solaires et d'optimiser le bilan énergétique dans la ville. Ces questions clés quittent les planificateurs pour discuter de la configuration du quartier "*idéal*" et le chemin correct des infrastructures énergétiques.

En utilisant un modèle de délimitation géographique des unités urbaines (GUUD) associés au potentiel solaire. Le modèle théorique inspiré de la structure de l'atome est proposé de résoudre le bilan énergétique de la ville. Dans cette perspective, protons, électrons et neutrons, sont représentés par les quartiers de la ville qui se comportent comme des particules avec positif, négatif ou par des charges électriques en fonction du différentiel entre leur approvisionnement en électricité photovoltaïque et de la consommation d'énergie. Les

flux sont gérés par le biais de réseaux intelligents, qui gardent les performances énergétiques de toute la ville stable, même un atome électriquement neutre dans lequel les charges des trois particules sont équilibrées. La méthodologie proposée est expliquée plus en détail par son application sur le cas de la ville Oeiras au Portugal.

Un travail qui combine système d'information géographique (ArcGIS), la modélisation paramétrique (Rhinceros® - Grasshopper™) et analyse dynamique solaire (Geco® - Ecotect®), a été développé. Sur le cas de la ville d'Oeiras.

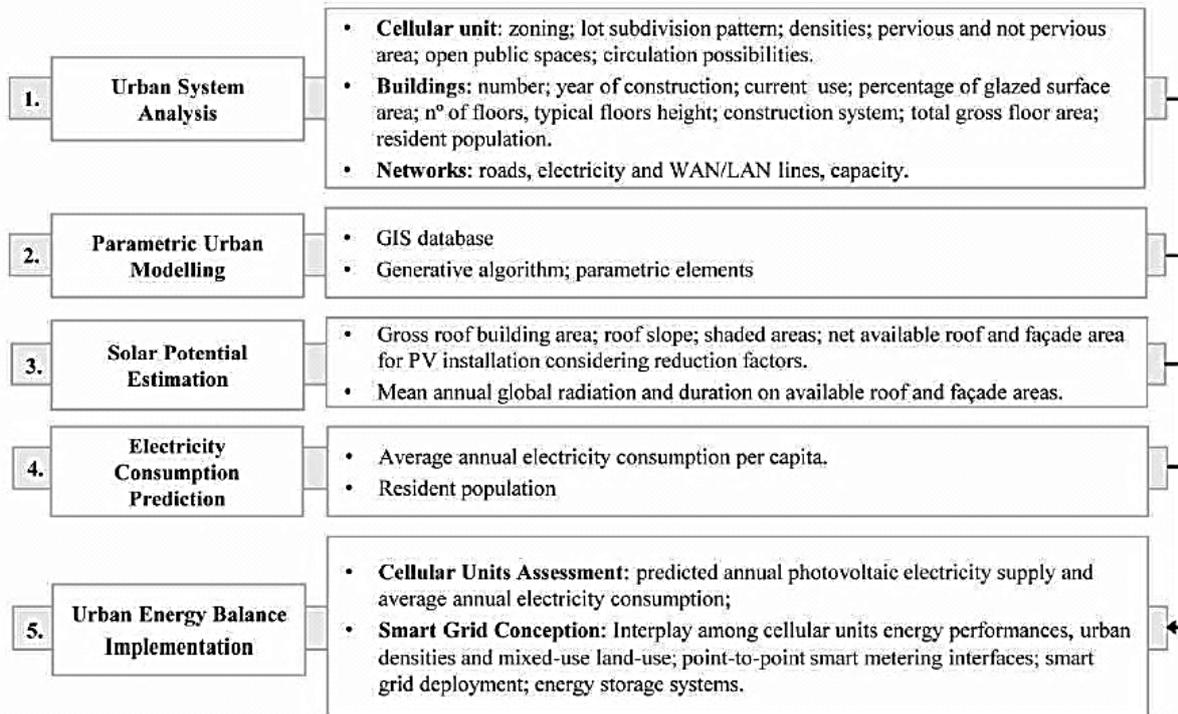


Schéma V.2: Méthodologie de travail proposé pour l'étude. Source: Amado Miguel, Poggi Francesca ; 2013.

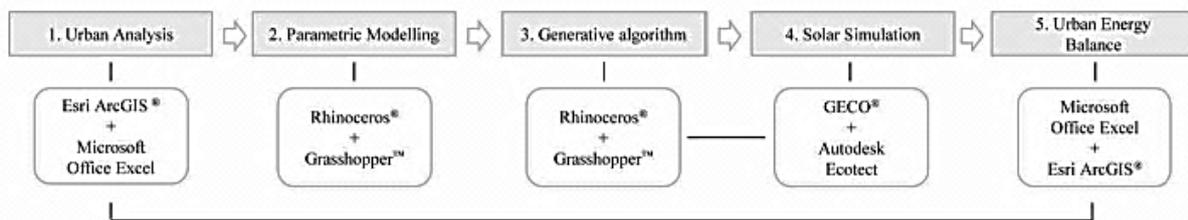


Schéma V.3 : Le processus de travail. Source: Amado Miguel, Poggi Francesca ;2013.

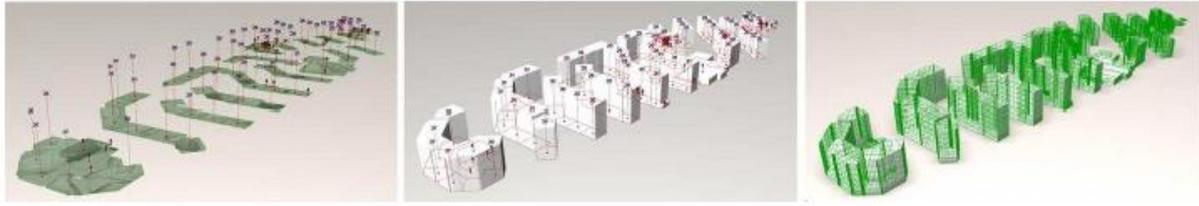


Figure V.3: Modèle paramétrique. Source: Amado Miguel, Poggi Francesca ; 2013.

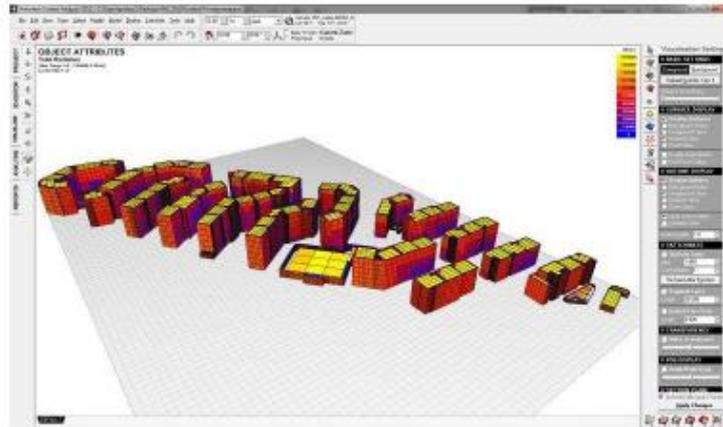


Figure V.4 : Modèle urbain solaire. Source: Amado Miguel, Poggi Francesca ; 2013.

1.1.2. La méthode de JEROME FAESSLER

La méthode développée par *JEROME FAESSLER* Collaborateur scientifique dans le domaine des systèmes énergétiques à l'Université de Genève ; propose l'idée d'utiliser un outil semi-automatique permettant de traiter un grand nombre de donnée via un Système d'Information Géoréfééré (SIG), une autre manière d'évaluation du potentiel solaire.

L'idée est issue de la complexité du milieu urbain qui privilège la spatialisation du potentiel pour chaque bâtiment en utilisant des SIG afin de coupler l'information de l'irradiation avec d'autres informations géoréféérées.

Dans un objectif de tester et évaluer la pertinence de l'outil *Solar radiation* du logiciel ArcGIS pour l'estimation de la ressource solaire en milieu urbain sur un modèle numérique de surface (MNS) en comparant l'irradiation modélisée avec d'autres méthodes d'analyse ; aussi développer une procédure semi-automatique de couplage de différentes statistiques géoréféérées avec cette ressource solaire issue du MNS³ (appelé *méthode Faessler*), afin d'appliquer par la suite l'outil de manière systématique sur le canton de Genève.

L'input de calcul est une image issue du modèle numérique de surface du canton de Genève. Les résultats de ce calcul sont donnés sous forme annuelle ou mensuelle en Wh/m²

³ MNS : modèle numérique de surface.

pour le rayonnement global, lui-même somme du rayonnement direct et diffus. Le nombre d'heure de rayonnement direct peut aussi être donné.

Cette méthode a été appliquée sur le canton de Genève pour examiner son potentiel solaire ; effectué par l'utilisation directe de l'outil *Solar radiation* sur les toitures du cas d'étude à partir de son MNS. Ce qui permet de prendre partiellement en compte les orientations et les pentes des toits de la zone étudiée. Le calcul des valeurs annuelles est effectué à partir des données mensuelles retenues de cette opération.

La méthode *Faessler* a permis de faire Cinq tests :

- ✓ L'évaluation d'irradiation solaire annuelle sur MNS.
- ✓ L'évaluation d'irradiation solaire annuelle au sol et sur des toitures plates.
- ✓ L'évaluation d'irradiation solaire annuelle sur la zone de sélection, et pour éviter de comptabiliser des pixels qui seraient à moitié en façade ; une couche d'un mètre autour des superstructures et d'un mètre à l'intérieur des toits doit être retirée.
- ✓ La couche *geo_hauteur_bat* peut être utilisée au lieu de la couche des toits et superstructures des toits issus de la 3D pour le couplage de l'irradiation solaire annuelle avec les bâtiments.
- ✓ Les pixels plus petits que 1'000 kWh/m²/an peuvent être éliminés avant de sélectionner les zones plus grandes que 20m² ; afin d'étudier l'effet de l'agrégation des pixels pour chaque surface restante disponible des toits.

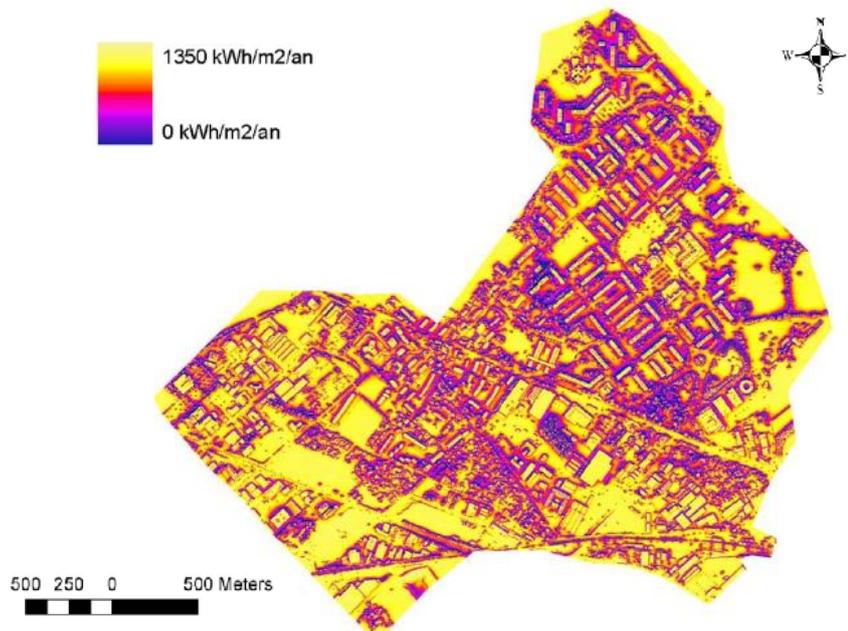


Figure V.5 : Irradiation annuelle de la zone test de Meyrin (selon input MNS) en kWh/m²/an.
Source: *Faessler*; 2010.

Faessler a essayé de comparer ces résultats avec d'autres méthodes entre autre comme celle de R.Compagnon, la méthode LIDAR, aussi la méthode Mermoud.

L'insertion directe d'un modèle MNS, ce qui la tâche de la construction des objets 3D et les introduire dans le MNT⁴, elle aussi plus appropriée pour de grandes échelles ; celles-ci sont considérées comme avantages de cette méthode.

Comme limites on peut citer :

- ✓ Les résultats sont approximatifs et ne sont pas assez détaillées.
- ✓ Cette méthode prend beaucoup de temps de calcul assez long ainsi que l'impossibilité d'intégrer une année spécifique de la météo.
- ✓ La nature et la qualité des toits n'est pas défini par cette outil.

1.1.3. La méthode de RAPHAEL COMPAGNON

Le chercheur à l'Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg (HES-SO), Professeur *Compagnon, R* a développé une méthode pour quantifier la disponibilité du potentiel solaire et de la lumière du jour sur les façades et des toitures situées dans les zones urbaines pour le chauffage solaire actif et passif, la production d'électricité photovoltaïque et l'éclairage naturel, suivi par l'élaboration d'un outil de simulation appelé PPF (2002), basé sur l'algorithmes du logiciel Radiance.

L'évaluation de l'énergie finale qui peut être utilisée pour définir les applications des techniques solaires actives ou passives ou des stratégies d'éclairage naturel dans une zone urbaine. Elle peut être résumée comme une équation symbolique qui comporte deux parties :

$$[\text{Energie Finale}] = [\text{Gisement solaire et lumineux urbain}] \otimes [\text{Facteurs d'utilisations}] \quad (1)$$

$$[\text{Gisement solaire et lumineux urbain}] = [\text{Modèle du ciel}] \otimes [\text{Modèle 3D des bâtiments}] \quad (2)$$

La ressource disponible sur la zone de l'enveloppe du bâtiment est exprimée par la disponibilité solaire et la lumière du jour urbain, alors que les caractéristiques techniques des capteurs solaires ou des dispositifs d'éclairage naturel efficace installés sur les bâtiments sont regroupés en facteurs d'utilisation. Ces deux termes divisent l'évaluation des ressources en termes d'énergie primaire à partir des moyens techniques utilisés. Le signe \otimes décrit les

⁴ MNT : modèle numérique de terrain.

principales interactions qui se produisent entre l'irradiation incidente (provenant du soleil et toute la voûte céleste) et l'environnement bâti (enveloppes terrestres et bâtiments).

Ceci est considéré comme une première étape de travail qui traite comme objectif principal de cette méthode : étudier les effets de la géométrie de la construction, des modèles et des orientations sur le potentiel de l'énergie solaire dans les zones urbaines.

Comme une seconde étape était à l'aide des données climatiques adéquates a chaque site ; le développement d'un modèle de ciel approprié au site d'étude pour chacune des techniques de captage solaire.

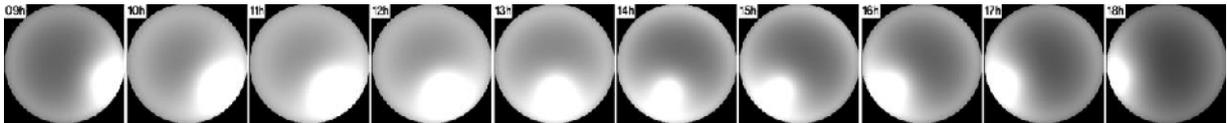


Figure V.6: Modèles de ciels horaires générés par gendaylit utilisant les données climatiques de METEONORM. Source : Compagnon, R ; 2002.

La construction de ces modèles se fait à l'aide des modèles existant développés par *Perez et al* afin d'obtenir les distributions de radiances et de luminances sur la voûte céleste. (Le ciel synthétique résultant peut également être utilisé pour produire des images *Falsecoloured*. (*SOLURBAN ; 2005*)).

Une fois ces modèles de ciel statistiques sont construits pour un site, ils peuvent servir à calculer dans une seule simulation l'irradiation moyenne (Wm^{-2}) ou éclaircissement (lux) sur une zone bâtie, ou convertis en irradiation ($kWhm^{-2}$).

La construction des modèles 3D est dénuée du détail, tout en prêtant attention aux caractéristiques de réflectances des parois et de fenêtres (la réflectance affecte la pénétration du rayonnement solaire dans le tissu urbain) ; ainsi que les reliefs du site.

La simulation s'est effectuée à l'aide du logiciel RADIANCE basé sur la technique de (ray-tracing) dont la précision physique a déjà été prouvée par plusieurs études.

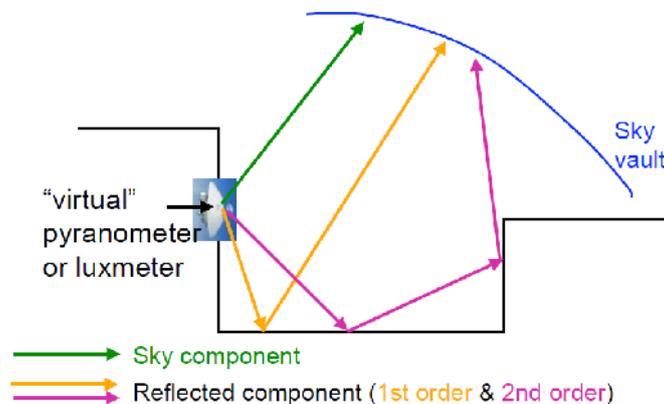


Schéma V.4 : Le principe de la simulation utilisant la technique Ray tracing. Source: R.Compagnon ; 2002.

Enfin, le potentiel de la technique solaire spécifique est quantifié par le calcul du rapport (en%) entre la quantité de surface de l'enveloppe suffisamment éclairé et la surface totale de l'enveloppe du bâtiment. (*R.Compagnon ; 2000 ; 2002 ; 2004 ; Montavon ; 2010*).

$$P_{pa} = 100 \cdot \frac{\sum_{i \in \text{façades}} S_i \cdot z(G_i \cdot \Delta t - H_{pa_seuil})}{\sum_{i \in \text{façades}} S_i} \text{ en (\%)} \quad (3)$$

Ou $z(x)$ est la fonction escalier : $z(x) = \{1 \text{ si } x \geq 0; 0 \text{ sinon}\}$

$$P_{pv} = 100 \cdot \frac{\sum_{i \in \text{façades}} S_i \cdot z(G_i \cdot \Delta t - H_{pv_seuil})}{\sum_{i \in \text{façades}} S_i} \text{ en (\%)} \quad (4)$$

P_{pa} : c'est le potentiel passif.

P_{pv} : c'est le potentiel photovoltaïque.

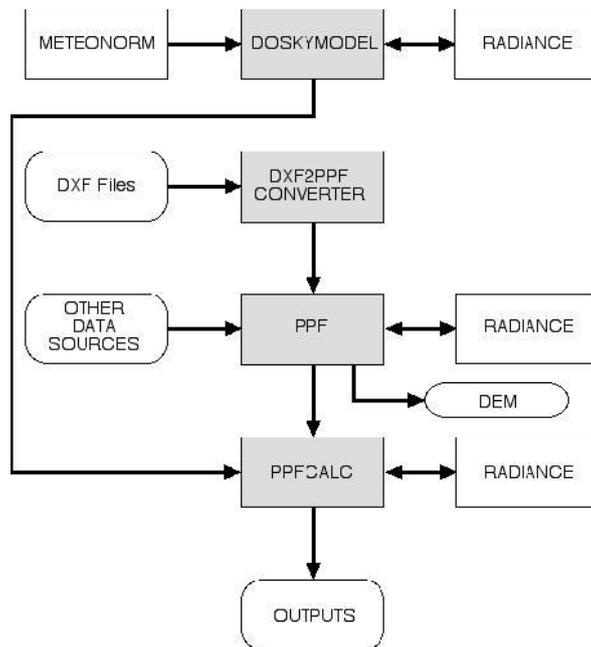
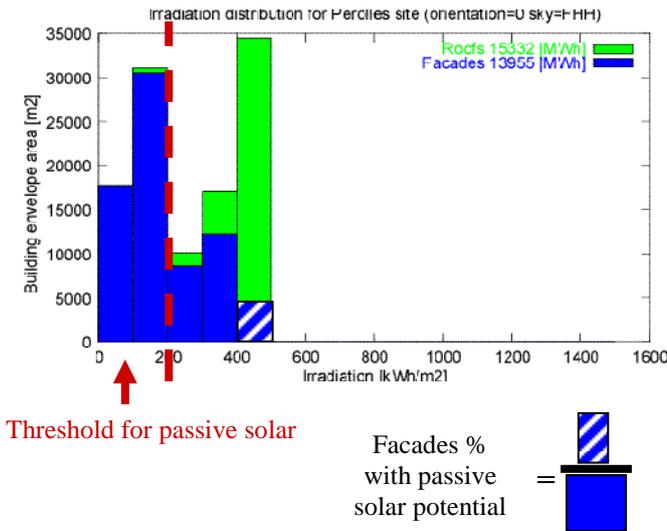
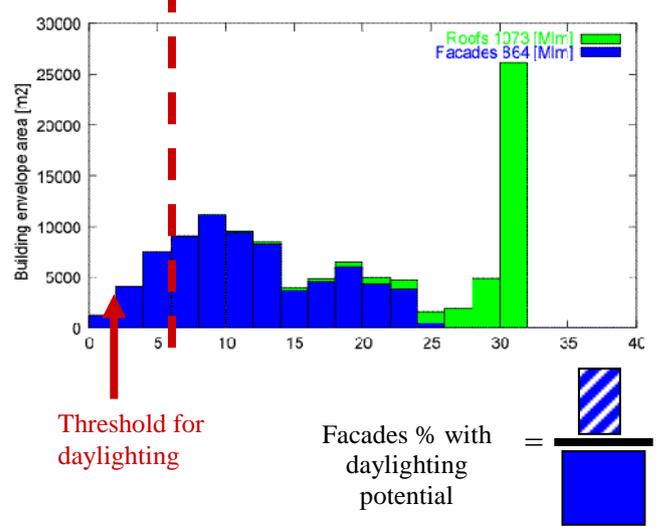


Schéma V.5: La structure de l'outil PPF. Source: R.Compagnon ; 2002.

Les valeurs d'irradiation et éclairage solaires obtenues par les simulations numériques forment la partie de base de la méthode. Les résultats quantitatifs sont représentés sous forme d'histogrammes ; avec la possibilité de séparation des surfaces de façades et des toitures (V.1) et (V.2). Ainsi, cette méthode proposée pourrait grandement aider à optimiser la collecte solaire encore au début de la phase de planification urbaine.



Graphe V.1: Irradiation par [kWh/m²].
Source: R.Compagnon ; 2002.

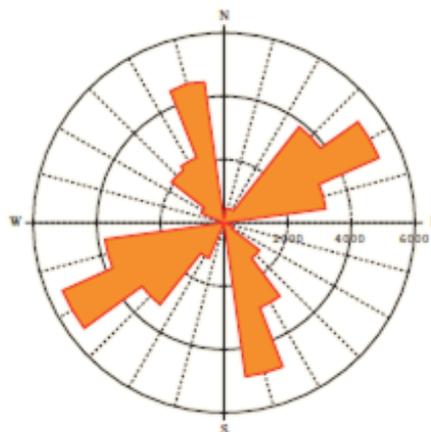


Graphe V.2 : Moyenne de luminance (8h-18h) [klx].
Source: R.Compagnon; 2002.

A l'aide de la rose d'orientation, les secteurs qui contiennent la plus grande zone de façade indiquent les grandes orientations qui affectent l'accès solaire et la lumière du jour aux bâtiments, mais cette méthode ne tient pas compte des obstructions des façades. Une autre méthode simple traite plus précisément cette question et consiste à appliquer des facteurs de pondération basée sur les facteurs de vue du ciel, également calculables par lancer de rayons. Ainsi pour chaque secteur d'azimut k on détermine l'aire pondérée A_k par :

$$A_k = \sum_{\substack{i \in \text{façades orientées} \\ \text{vers le secteur } k}} \frac{S_i \cdot SVF_i}{0.5} \text{ en [m}^2\text{]} \quad (5)$$

Ces aires peuvent finalement être représentées dans un diagramme polaire (V.3).



Graphe V.1: Un exemple d'une rose d'orientation. Source : R.Compagnon ; 2004.

Pour finaliser Radiance peut permettre la visualisation des résultats obtenus par images *Falsecoloured* et qui peuvent également être seuillées (Fig. V.3) pour déterminer où ce potentiel existe (*Compagnon 2004, Robinson 2004*) ; et qui donne une autre meilleure possibilité d'interprétation de ses résultats.

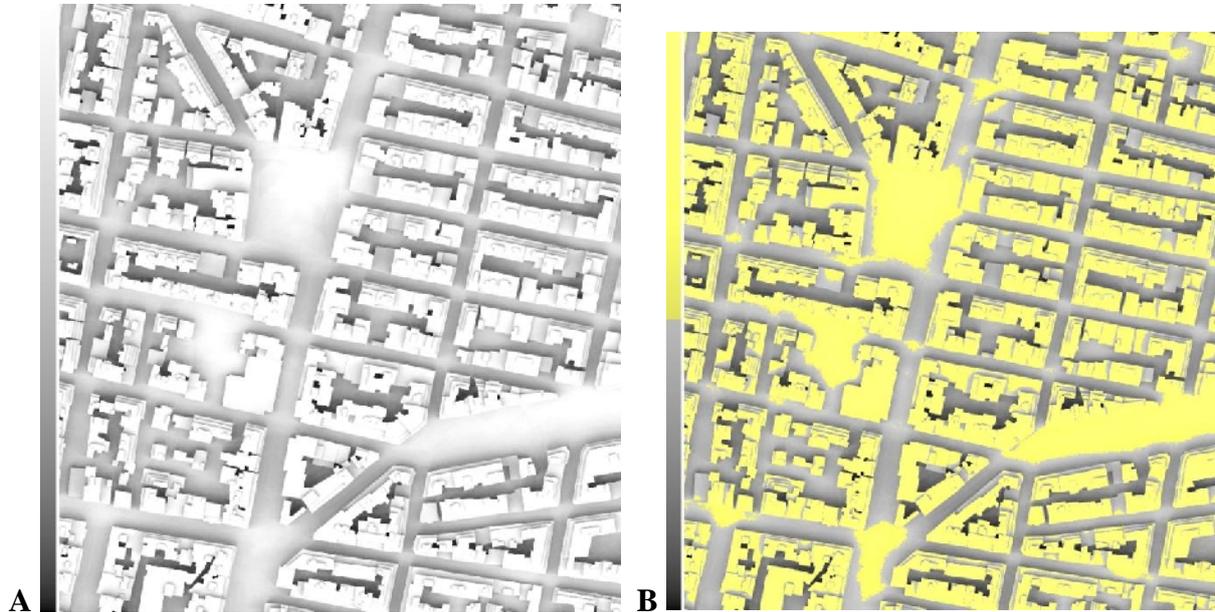


Figure V.7 : Visualisation des résultats d'une vue aérienne de PATHSIA à Athènes, A : niveau de gris indiquant les niveaux d'irradiation annuels sur une partie de la zone ; B : montrant les zones de toit appropriées pour les modules photovoltaïques. Source : R.Compagnon ; 2002.

1.2.1.1. L'application de la méthode de RAPHAEL COMPAGNON

Cette méthode a été appliquée dans différentes études ; essentiellement testée par les recherches du Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment de l'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE (LESO de EPFL), parmi ces projets on résume :

Montavon, et Al, (2004); Scartezzini, et Al, (2002), ont effectué des études comparatives de cas de différentes configurations de bâtiments à densité constante dans l'intérêt d'évaluer le potentiel réel d'utilisation de l'énergie solaire pour trois sites urbains en Suisse (Matthaus à Bâle, Bellevaux à Lausanne et Meyrin à Genève) ; révèle de grandes variations du potentiel pour la collecte de l'énergie solaire sur les façades des bâtiments.

Les distributions spatiales de l'irradiation solaire et le flux de la lumière du jour sur les façades et les toits de construction globaux ont été calculés, dont la procédure globale, basée sur le programme *Ray Tracing* à l'aide du logiciel Radiance par l'application de la méthode

R.Compagnon ; pour déterminer l'emplacement approprié des différentes technologies solaires (solaire passive et active, photovoltaïques et éclairage naturel).

Les résultats ont affirmé que pour les trois sites les surfaces d'enveloppes ont un pourcentage adéquat aux applications solaires malgré les obstructions et l'ombre portée due au voisinage.

Ces résultats ont été explorés par *Darren Robinson(2006)* par une étude sur la morphologie urbaine et les indicateurs de la disponibilité d'irradiation solaire, pour tester la robustesse de Vs, U et h/w et dans une certaine mesure la validité des résultats de l'étude précédente seulement en examinant Vs. faisant recours aux résultats de simulation de trois quartiers. Ils ont exploré la méthodologie de *R.Compagnon* par une approche paramétrique de quantifier le potentiel de l'énergie solaire à partir de systèmes photovoltaïques de: Matthaues à Bâle, Bellevaux à Lausanne et Meyrin à Genève

Vicky Cheng et all ;(2006), ont élaboré une étude sur l'effet de la forme urbaine, et la densité sur le potentiel solaire. L'étude basée sur l'approche paramétrique par une application sur 18 modèles génériques afin de comparer la performance de la lumière de jour ainsi que le potentiel solaire en examinant la relation entre la forme bâtie , la densité et le potentiel solaire. Les modèles ont été catégorisés en 4 formes différentes construites en terme de COS (3 groupes de COS : faible, moyen, et fort) et de CES (2 groups de CES : bas et haut) et de différentes configurations : horizontale, verticale, et aléatoire sur un site virtuel.

L'évaluation a été faite par la simulation numérique du modèle 3D avec le logiciel Radiance (par la technique de *Ray Tracing*) afin d'examiner la disponibilité solaire et la lumière du jour, faisant référence aux directions principales des bâtiments, aux surfaces de façades, *Sky View Factor SVF* au niveau du sol (facteur de l'ouverture du sol) et le facteur de lumière du jour sur les façades et le potentiel solaire sur l'enveloppe des bâtiments ; qui étaient effectués par le traitement d'image 3D du tissu urbain. Les deux techniques ont déjà été utilisées dans les projets de l'UE Précis: L'évaluation du potentiel des énergies renouvelables des villes (*Ratti, et all. 2000*) aussi dans diverses études de la forme urbaine (*R.Compagnon, 2004, J.L. Scartezzini, M.Montavon, et R.Compagnon, 2005*). Afin de limiter le site, deux lignes de bâtiments ajoutés de part et d'autre du modèle d'études pour reproduire le milieu urbain.

Des recommandations utiles pour la planification des villes à haute densité, ont été suscitées à partir des résultats de cette étude:

En 1^{er} lieu la disposition horizontale aléatoire des bâtiments, c'est-à-dire dans la condition d'utiliser une même surface du sol (emprise au sol), il est plus souhaitable d'organiser les blocs de bâtiments en disposition éparpillée qu'en rangers uniformes.

En second lieu la disposition des hauts bâtiments, petite couverture du site, et espace plus ouvert sont préférables que ceux avec des bâtiments de petite hauteur et forte densité.

1.2. Les types des méthodes de simulations

Plusieurs méthodes de simulation du rayonnement solaire, *D.Siret(2007)* a proposé un classement de méthodes de simulation direct de l'ensoleillement selon trois catégories :

1.2.1. Les méthodes graphiques

Ce sont des méthodes qui mettent en œuvre les techniques de projection géométrique des différents abaques et diagrammes solaires en deux dimensions, pour les deux tracés: tracés des ombres en un instant données pour déterminer la zone ensoleillée effectuant un simple rabattement à l'aide de la géométrie descriptive, aussi les tracés des masques solaires en un point donné afin de déterminer la période ombragée, en projetant sur un diagramme solaire les masques environnant à l'aide des plans et des élévations.

1.2.2. Les méthodes analogiques

Les positions relatives de la terre et du soleil reproduisent par des dispositifs mécaniques ou optiques dont ils sont équipés de lampes, permettant de visualiser les rayons solaires (l'horosontoscope) et les ombres portées (comme l'Héliodon) même des volumes complexes, sur une maquette ou un modèle réduit de la réalité; réduisant le temps et l'effort fournis.

1.2.3. Les méthodes numériques

Appelées aussi outil informatique, utilisent les procédures de la géométrie algorithmique et de la synthèse d'image. Ces dernières années ont connu le développement de nombreux outils informatiques venant faciliter la prise en compte de la dimension solaire dans le contexte architectural et urbain. Ceci est largement lié aux préoccupations environnementales actuelles. Le potentiel de ces outils reste très variable, à la fois en termes de précision, de complexité des géométries susceptibles d'être traitées, mais aussi du public visé. En revanche, les logiciels de simulation restent du domaine de l'ingénierie, même si de

gros progrès ont été réalisés dans la manière de communiquer les résultats des simulations. *Miguet. F et Paule. B (1981)* ont divisé ces méthodes en deux catégories distinctes à savoir :

1.2.3.1. Les méthodes simplifiées

Ce sont des outils numériques développés généralement par des laboratoires de recherche, pour la plupart, à vocation didactique et, donc, relativement faciles à aborder, sont utilisés de manière directe afin de calculer l'ensoleillement d'un espace donné, ou encore pour faire le pré-dimensionnement et le calcul des protections solaires. (*Miguet. F, Paule. B, 2010*).

Ces outils numériques, permettent d'obtenir rapidement des informations élémentaires sur le soleil en fonction de la latitude, du lieu et de la date de l'année et récupérer toutes les données solaires que peut fournir les méthodes graphiques. Ou bien des processus de simulations ne convenant qu'à des géométries extrêmement simplifiées. (*Miguet, Paule, 2010*).

1.2.3.2. Les méthodes complexes

Depuis les années 60 la simulation 3D de l'ensoleillement existe, c'est des outils plus évolués permettant de traiter les scènes aux géométries plus complexes tout en fournissant des informations plus précises et de nature plus variée.

Ces logiciels permettent de répondre à de nombreux questionnements, parmi lesquels : les tracés d'ombre et durées d'ensoleillement, l'évaluation de l'énergie solaire incidente sur les facettes du projet en prenant compte l'état de ciel, les multi-réflexions solaires, l'évaluation de l'éclairage naturel direct et indirect, les problèmes de rayonnement thermique tenant compte des deux types de spectres, solaires et thermiques et même encore les problèmes liés à la visibilité et au confort visuel. (*Miguet, Paule, 2010*).

Les résultats des simulations peuvent être numériques (chiffrés, quantitatifs) ou visuelles (des images). Deux approches de synthèse d'image⁵ sont utilisées afin de les reproduire, à savoir: la technique de lancer de rayons (ray tracing) et la technique de (radiosité). (*Mahaya.C, 2013*). Ces deux approches seront brièvement présentées dans les paragraphes suivants.

⁵ La synthèse d'image est une grande zone de recherches dans le domaine d'infographie. Elle a pour but la création assistée par ordinateur d'images numériques. Son but est de développer les algorithmes qui peuvent créer des images qui sont proches de la réalité à partir des descriptions de scène.

1.2.3.2.1. La technique de lancer de rayons (Ray tracing technique)

Le “*Ray tracing*” est une simulation de la propagation des ondes sur la géométrie 3D complexe. C’est une méthode de rendu qui utilise les lois de l’optique géométrique. Elle consiste à suivre le trajet inverse des rayons lumineux afin de calculer les propriétés géométriques et lumineuses de la scène⁶, de la caméra vers les objets, puis vers les lumières, alors que dans la réalité, la lumière va de la scène vers l’œil (fig. V.8).

Le principe de ray tracing est de suivre la propagation des ondes à partir d’un point fixe et de détecter les obstacles éventuels. Cette technique reproduit les phénomènes physiques (Principe du retour inverse de la lumière de Fermat, Lois de Snell-Descartes) que sont la réflexion et la réfraction, dont sa démarche consiste tout d’abord, à calculer la lumière ou l’ombre en point d’intersection. En revanche, contrairement à d’autres algorithmes de synthèse d’image, elle permet de définir mathématiquement les objets à représenter et non pas seulement par une multitude de facettes.⁷

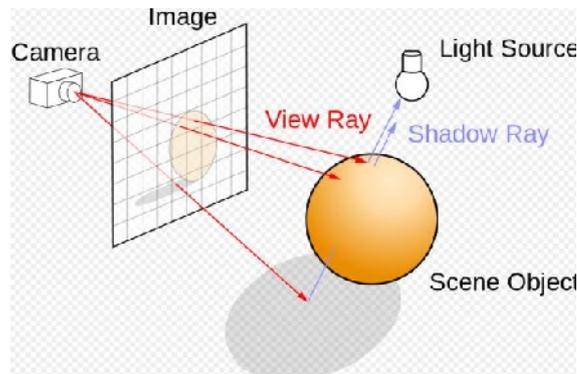


Figure V.8 : La technique de lancer de rayons (Ray tracing technique). Source: URL : [\[http://fr.wikipedia.org/wiki/Lancer_de_rayon\]](http://fr.wikipedia.org/wiki/Lancer_de_rayon). (Consulté le 22/04/2015 à 17h20)

Lancer le rayon est une technique qui se met en œuvre facilement, elle garantit un rendu images réalistes de très bonne qualité et un modèle d’illumination globale. De plus c’est une technique utilisée principalement pour introduire des effets d’optique comme les ombres, les réflexions (miroir), les réfractions, la brillance,... etc. (*Mahaya.C, 2013*). Par contre, l’utilisation de cette technique implique plusieurs inconvénients : Tout d’abord, le temps très élevé de calcul et cela rend impossible son utilisation dans les applications du temps réel et dans l’animation. Un autre gros problème, c’est que le lancer de rayons n’est pas approprié au

⁶ URL:[<http://www.hpc-sa.com/en/raytracing/definition>]; (Consulté le 20/04/2015 à 10h20).

⁷ URL:[http://fr.wikipedia.org/wiki/Lancer_de_rayon]; (Consulté le 22/04/2015 à 17h20).

calcul des réflexions diffuses, les ombres sont trop “nets” dans les images et ne reflètent pas la réalité. (*Minh, 2005*).

1.2.3.2.2. La technique de traitement d'image

Dans un cadre urbain, la modélisation de l'irradiation pour chaque bâtiment est assez compliquée étant donné la complexité de l'environnement immédiat ; à ce stade selon *J.Faessler (2010)* il paraît indispensable de passer la spatialisation de l'information et l'utilisation d'outils SIG permettant de traiter un grand nombre d'informations à la fois.

La puissance de la simulation numérique a récemment été exploitée à un excellent effet afin de prédire irradiation solaire. Dans une étude au début c'était basée sur des simulations horaires (*Kovach et Schmid, 1996*). Des travaux ultérieurs axés sur les moyens de réduire la charge de calcul de cette forme d'analyse utile. Par exemple, *Mardaljevic (2000, 2003)* a utilisé des techniques de traitement d'image pour construire de longues séries chronologiques, résultats (mensuelles ou annuelles) d'un sous-ensemble statistique des simulations horaires. *Mardaljevic & Rylatt(2003)* ont proposé une approche pour l'évaluation d'irradiation solaire incidente sur les façades des bâtiments d'un environnement urbain. *Falsecoloured* (des images de fausses-couleurs présentant l'irradiation annuelle/mensuelle) images résultantes aident ensuite avec un diagnostic visuel, comme un potentiel d'identification pour l'utilisation des technologies de conversion de l'énergie solaire. Ces images sont liées SIG.

Aussi un groupe de chercheurs appelés *Carneiro-Morello-Desthieux*, travaille sur l'utilisation d'un modèle urbain 3D issu des données LIDAR, qui sont en réalité des données altimétriques mesurées par avion ; leur modélisation est basée sur 5 grandes étapes:

- a. La reconstruction du modèle de surface 2.5D à partir du traitement d'image
- b. Les orientations et pentes des toits; sont estimées par une procédure de segmentation.
- c. Analyse des surfaces de toits disponibles, selon la surface minimale requise (20 m² pour le PV ; 4 m² pour le thermique).
- d. L'évaluation de l'irradiation solaire pour ces segments de toits ; pour le thermique.
- e. La visualisation des résultats en 2D.

Cette procédure a l'avantage de travailler à partir de données brutes aéroportée et des couches vectorielles des bâtiments de manière automatique. Elle peut donc potentiellement

être appliquée sur n'importe quelle zone urbaine ayant des données LIDAR et une couche vectrice des bâtiments à disposition. (*J.Faessler ; 2010*)

Après avoir illustré les différentes démarches et méthodes ainsi que plusieurs outils utilisés pour l'évaluation du gisement solaire à l'échelle urbaine ; il est indispensable de proposer une démarche qui convient aux objectifs de la présente étude. En s'inspirant des méthodes des recherches présentées dans la 1^{ère} partie de ce chapitre ; il devient nécessaire de cibler un moyen pertinent pour l'évaluation de la configuration urbaine.

A cette fin la méthode développée par R.Compagnon (PPF-Radiance "LESO-EPFL"), sera adaptée pour la courante étude ; car elle convient au but et aux objectifs de notre travail ; dont elle nous permet le calcul des surfaces adéquates aux conditions des seuils des installations des techniques solaires.

Mais par carence de l'outil (PPF-Radiance) ; on doit chercher un alternatif ; on va présenter dans ce qui suit un ensemble de logiciel d'évaluation du gisement solaire afin de choisir celui qui s'adapte le mieux avec la méthode sélectionné pour l'application.

La seconde partie de ce chapitre sera consacrée à la présentation du logiciel choisi pour l'application ainsi le protocole de la simulation et l'explication de la méthode proposée pour l'application de cette étude.

2. L'OUTIL DE LA SIMULATION

2.1. Développement des logiciels de simulations

L'introduction des ordinateurs a eu un impact profond sur le domaine de la recherche et essentiellement dans le domaine de la morphologie urbaine, en particulier à l'échelle d'un quartier où les données significatives à l'échelle macro sont difficiles à obtenir et des données à l'échelle micro sont suffisantes. Grâce à l'automatisation informatique, des géométries plus complexes pourraient être explorées et les calculs peuvent être répétés rapidement pour de nombreux bâtiments en vue d'élargir l'analyse à l'échelle du quartier.

Pour que cela soit utile, de nouvelles données pour nourrir ces modèles ont été nécessaires. Disponibilité de l'imagerie satellite et de la caméra à haute altitude, et la création d'un système de positionnement global par satellite (GPS) a fourni des données premières

abondantes. L'analyse de ces données a été activée par le développement de systèmes d'information géographique (SIG). (*Philipp Rode et al 2014*).

Plusieurs outils éprouvés de simulation physique des conditions d'ambiances hygrothermiques, lumineuses ou visuelles peuvent s'insérer dans les processus d'évaluation des projets. Des méthodes nouvelles existent également pour la conception de dispositifs solaires permettant de concilier efficacité et créativité architecturale (*Siret 2002, Siret et Houpert 2004*).

Les développements récents dans le calcul, tels que Geographic Information Systems (GIS), Building Information Models (BIM) et le logiciel de la simulation détaillée en fonction du climat thermique, offrent de nouvelles perspectives sur la relation dynamique et les spécificités de conditions climatiques. L'utilisation du bâtiment et son environnement, nous aide à identifier les gains solaires et la lumière du jour équilibrée résultant de la géométrie urbaine.

La puissance de la simulation numérique a récemment été exploitée à un excellent effet dans le contexte d'irradiation solaire. Au début elle a été basée sur des simulations horaires (*Kovach et Schmid, 1996*). Ultérieurement ; les travaux sont axés sur les moyens de réduire la charge de calcul de cette forme d'analyse utile.

A partir des années 2000, diverses améliorations ont été apportées à l'outil de modélisation de rayonnement solaire afin qu'il reflète plus fidèlement la réalité. Permettant de tenir compte de l'ombrage et l'inter-réflexion entre les bâtiments, et plus en détail de surface ont été mises en œuvre (*Mardaljevic et Rylatt 2003; Robinson 2006*). Encore, les modèles ont été optimisés pour devenir radicalement plus évolutifs étant donné la disponibilité limitée des ressources informatiques (*Mardaljevic et Rylatt 2003; Robinson et Stone 2004*). Par exemple, *Mardaljevic (2000, 2003)* a utilisé des techniques de traitement d'image pour construire de longues séries chronologiques (ex annuelles) résultats d'un sous-ensemble statistique des simulations horaires. *Falsecoloured* images résultantes aident ensuite avec un diagnostic visuel, comme un potentiel d'identification pour l'utilisation des technologies de conversion de l'énergie solaire. Un autre procédé, mis en place par *Compagnon (2000, 2004) (Robinson 2004)*, implique le prétraitement plus rapide plutôt statistique de la répartition de radiance de ciel, par opposition au post-traitement des résultats de simulation. Le ciel synthétique résultant peut également être utilisé pour produire des images *Falsecoloured*, mais cela implique un grand nombre de simulations horaires. Ces empreintes solaires morphologiques fournissent une information à priori concernant l'efficacité relative des conceptions

alternatives. En outre, ils peuvent être combinés avec des seuils d'énergie pour quantifier les proportions de surfaces construites qui présentent le potentiel pour l'utilisation ou la lumière du jour solaire passive et active. (*Darren Robinson et al, 2005*)

Compagnon (2004) et Montervon (2004) ont aussi démontré l'utilité d'une telle évolutivité inhérente en effectuant des analyses à l'échelle du quartier, comparant configurations de construction par rapport aux effets de lumière du jour à travers trois villes suisses. Les utilisations potentielles ont été postulées y compris quantifier l'impact des nouveaux développements urbains sur les bâtiments existants ou les capteurs solaires, et d'évaluer les conséquences possibles directives de planification urbaine sur l'accès solaire avant la mise en œuvre. Une évaluation globale du potentiel de ces outils a été donnée par *Ratti et al (2004)*.

En conséquence tout projet de construction dans la décision, que ce soit de nouvelle construction ou de rénovation, serait conseillé d'intégrer non seulement une simulation détaillée de l'impact de l'énergie du contexte tel qu'il est, mais aussi une estimation basée sur la densité maximale autorisée sur sites voisins. (*Sattrup.P, Strømman-Andersen. J, 2011*).

Ces programmes de simulation numérique fournissent une base pour représenter une distribution du ciel réaliste ainsi que le soleil et les effets de réflexions multiples (à la fois diffuses et directes) des obstacles urbains de complexité arbitraire.

Un des challenges majeurs de la planification urbaine réside dans les méthodes de modélisation et de simulation disponibles. Il est en effet nécessaire de pouvoir simuler la situation énergétique du parc de bâtiments existant ainsi que l'impact de mesures d'améliorations applicables.

Le potentiel de ces outils reste très variable, à la fois en termes de précision, de complexité des géométries susceptibles d'être traitées, mais aussi du public visé, c'est pour cette raison on propose le tableau suivant (V.1) afin de comparer les performances de quelques logiciels de simulation de l'irradiation solaire pour sélectionné le plus approprié.

Logiciels	Descriptifs	Fonctions	Input	Output	Avantages	Inconvénients
TRNSYS	-développé par le laboratoire d'énergie solaire (SEL) de l'université de Madison aux états Unis. -à vocation commercial	-modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité. - l'évaluation de la performance des systèmes d'énergie thermique et électrique	Description du bâtiment et données météo. Description des éléments du système thermique et de leur fonctionnement.	Consommations mensuelles et annuelles. -visualisation sous forme d'histogrammes. -Visualisation en temps réel de certaines valeurs de la simulation. - Impression des différentes valeurs variables (par pas de temps)	Possibilité d'introduire le modèle 3D modélisé par certain programme - possibilité de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine	Trop compliqué Difficile à métrisé Demande un haut niveau de précision
PLEIADES	évaluation de la qualité environnementale des bâtiments	Les besoins de chauffage et de rafraîchissement L'étude thermique du bâtiment	Les données climatiques du lieu.	Des profils et des histogrammes de température Pour vérifier le niveau de confort dans différentes zones thermiques	- simulation des conceptions passives Modéliser la 3D ou importé à partir d'un fichier DWG et de visualiser en 3D.	L'échelle du bâtiment Modélisation simplifiée des équipements Nombres de zones limitées
ECOTECT	un outil d'analyse de l'environnement qui permet aux concepteurs de simuler la performance des bâtiments dès les premiers stades de la conception.	Visualiser le rayonnement solaire, à n'importe quelle période de l'année. Calculer les facteurs d'éclairage naturel d'éclairage à partir de n'importe quel point du modèle. Afficher la position et le parcours du soleil par rapport à la date, l'heure et l'emplacement de votre choix	3D Studio (.3DS) .ASC .PRJ); AUTOCAD (.DXF); EnergyPlus (.IDF); Windows Bitmap (.BMP)	le rayonnement solaire. l'éclairage naturel et l'éclairnement	- Guide le processus de conception. Modéliser la 3D -Analyses solaire, thermique, acoustique. donne des résultats très visuels Fournit la rétroaction visuelle et analytique. -Nombreuses sorties vers des logiciels plus performants	Ne calcul Pas le l'énergie solaire et ses systèmes.- C'est un outil pour la phase esquisse et d'orienter la conception. -l'échelle du bâtiment ou d'un espace.

Logiciels	Descriptifs	Fonctions	Input	Output	Avantages	Inconvénients
ENVI-MET	Développé par le Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse	utilisé dans les différents domaines de la climatologie urbaine allant de la planification urbaine générale sur l'architecture urbaine vers le bas pour la conception des bâtiments individuels.	le modèle en 3D (Modelling) le format du fichier (IN) son interface contient tout ce qui est relié au 3D (Blocs, Végétation, matériaux, orientation, grille de dessin....) Configuration (CF) une interface pour les données relatives aux paramètres climatiques, date et heures de simulation, situation du cas d'étude, et autres indicateurs comme indice de confort, albédo....	les données obtenues de la simulation saisies dans un dossier appelé (Atmosphère) les fichiers de ce dernier sont les memes que nous devons les lire avec la petite interface de LEONARDO ; qui est une interface conçue seulement pour la lecture des fichiers simulés	simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l'atmosphère. Analyser l'impact sur le microclimat de modifications de l'environnement urbain paramètres obtenus du logiciels tels que: la vitesse de l'air, la température moyenne radiante (TMR), la température ambiante, le taux du CO2, SVF (Sky view Factor)....	Nécessite la modélisation 3D, il ne fait une ligne courbée ce qui agit sur le modèle organique n'accepte aucun fichier hors ses formats (IN, CF), n'ajouter pas les objets hors sa bibliothèque Temps de simulation important
SOLENE	- à vocation commerciale et pédagogique au même temps Application sur la géométrie	Evaluation de rayonnement solaire direct diffus et réfléchi Evaluations d'énergie solaire Les multi-réflexions solaires L'évaluation de l'éclairement naturel Les problèmes de transmission lumineuse au travers de vitrages Les problèmes de rayonnement thermique en milieu urbain	- La latitude et l'altitude du lieu - Type de ciel - l'Albédo	la visualisation de résultats; des profils et des fichiers format (.val) possibilité de lecture dans d'autre logiciel (Excel). calculer des durées d'ensoleillement des flux d'énergie solaire, des températures de paroi des niveaux d'éclairements intérieurs et extérieurs	modéliser ou importer le modèle 3D Evaluation sur deux échelles architecturales et urbaines, réintègre les résultats au projet d'utilisateur. Permet l'analyse des interactions des formes urbaines et ses dimensions environnementale et climatique, en corrélant des données géométriques de la forme urbaine	Demande un outil puissant pour la simulation.

Tableau V1: Comparaison de différents logiciels de simulations numérique de l'irradiation solaire. Source: Auteur février 2016.

A partir du tableau présenté ci-dessus et qui résume les grands principes des outils de simulation solaire ; nous concluons que le logiciel SOLENE est le plus approprié pour notre travail ; il peut aider l'architecte ou l'urbaniste dans leur processus de décision, ainsi leur donnent des informations importantes et fiables sur les liens étroits entre les bâtiments et leur environnement. SOLENE met en évidence les possibilités dans diverses situations et échelles, y compris les questions urbaines, l'analyse intérieure, le niveau de performance d'un dispositif de contrôle, etc. Il est important de garder à l'esprit que cet outil ne donnera bien sûr pas de solutions toutes faites; le décideur doit composer avec de nombreuses contraintes. Ceux-ci sont plus ou moins difficiles à gérer, et les éléments objectifs et pratiques donnés par les résultats des simulations seront facteur décisif fiable pour le choix final. (*F. Miguet;2007*).

Tous ces arguments nous ont conduits à le choisir comme outil d'application pour cette investigation ; d'une part. Une combinaison entre la démarche choisie et les outils disponibles qui permettront l'exécution des différentes étapes d'évaluation. Pour cela on fait référence à l'étude de *C. Mahaya (2014)* ; dont ce dernier a utilisé le logiciel de simulation thermo-radiatif SOLENE d'une part pour sa compatibilité avec la méthode qui a été ciblée.

L'évaluation du gisement solaire dans cette étude s'appuie essentiellement sur la simulation numérique d'un modèle 3D simplifié assisté par ordinateur à l'aide d'un logiciel numérique développé par le laboratoire CRMA, dans ce qui suit une brève représentation du logiciel SOLENE choisis pour l'application.

2.2. Choix de l'outil de simulation

De nombreux logiciels traitent le comportement de rayonnement solaire et de l'énergie sur l'enveloppe d'un bâtiment et apportent ainsi des solutions pour évaluer ce comportement.

Le logiciel de simulation solaire SOLENE développé par le laboratoire CERMA, permet de mener des enquêtes concernant les raccords microclimatiques et solaires des bâtiments et des formes urbaines et de gérer les problèmes de masque solaire, ainsi la visualisation des résultats directement sur le volume.

Il a été utilisé dans divers travaux de recherche citant *Mahaya.C (2013)*, (*Athamena.K, 2013*), *Bouyer.J (2009)*, *Benlatreche.T(2006)*...

D'après *Mahaya.C (2013)*, *Athamena.K(2013)* il propose diverses fonctions de simulation qui permettent d'appréhender des modèles géométriques en 3D à l'échelle d'un unique bâtiment, d'une rue canyon ou encore d'un fragment urbain, voire d'un quartier dans

son ensemble suivant divers paramètres physiques. Des fonctions de visualisation rendent compte des comportements observés dans l'espace et le temps, et il permet aussi, à l'aide de Excel, le calcul des surfaces de la géométrie 3D qui répondent à une condition lumineuse ou énergétique.

Le modèle permet de traiter conjointement les contraintes solaires et lumineuses en s'appuyant sur une modélisation réaliste des phénomènes, notamment par l'intégration d'un modèle de ciel. Par la suite, la modélisation des inter-réflexions et des flux infrarouges a été implémentée (*Miguet, 2000*).

2.2.1. Présentation du logiciel de simulation "SOLENE"

Le logiciel de simulation SOLENE est un modèle thermo-radiatif qui a été développé par le laboratoire CERMA (Centre de recherche méthodologique d'architecture) à Nantes suite à des recherches sur les paramètres solaires, lumineux et radiatifs des projets architecturaux et urbains ; ainsi que l'évaluation et la conception solaire et microclimatique des projets à caractères théoriques et pratiques de ces derniers. Il permet l'exploitation des résultats des simulations : tracé d'ombres, quantification d'ensoleillement, potentialités solaires des enveloppes de bâtiment, intensité lumineuse, facteur de ciel, intensité des réflexions lumineuses, bilan énergétique des façades, etc...assurant ainsi, aussi bien une aide à l'évaluation et à la conception des projets.

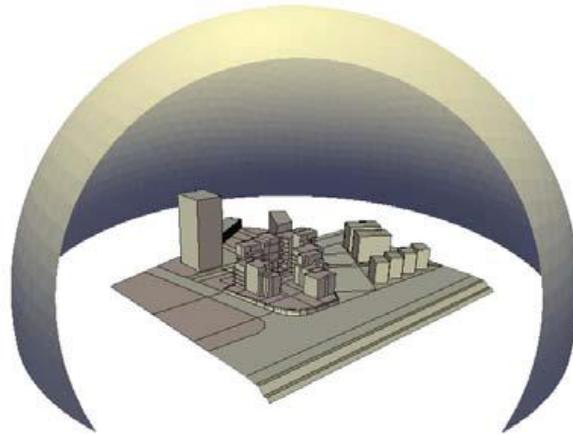
L'échelle de temps correspond à des cycles journaliers, avec un pas de temps allant de 5 minutes à 1 heure. Le choix de la durée du pas temps dépend essentiellement de la finalité des résultats souhaités. Un pas de temps de 15 minutes constitue un choix bien adapté à la prise en compte de la trajectoire solaire, l'alternance des périodes ensoleillées et ombragées et des réponses thermiques des matériaux. (*Athamena.K, 2013*).

Il est organisé autour d'un nombre limité d'objets liés entre eux : le projet, la géométrie, les ciels, les descripteurs, les matériaux et d'un ensemble de fonctions de traitement qui permettent d'effectuer diverses simulations et quelques post-traitements spécifiques. **CERMA**

2.2.2. Modélisation de la géométrie

La géométrie simulée peut être modélisée soit directement avec l'interface graphique du logiciel, soit par l'importation des géométries issues de logiciels de dessin D.A.O (*Autocad, Gambit, SketchUp...*).

La géométrie apparaît sous la forme d'un ensemble de faces planes adjacentes les unes aux autres. Chaque face est définie par ses contours et possède un certain nombre de descripteurs pour la caractériser ; elle est aussi associée à un matériau qui détermine son comportement radiatif et thermique. (*Athamena.K, 2013*).



FigureV.9: La scène urbaine sous un ciel couvert par le logiciel Solene. Source: *F.Miguet;2007*.

2.2.3. Simulation d'irradiation solaires

SOLENE calcule la position du soleil en fonction du jour, de l'heure solaire et de la latitude, permettant ainsi de connaître l'angle d'incidence des rayons solaires par rapport aux différentes facettes de la géométrie ainsi que les masques de l'environnement immédiat.

L'évaluation d'irradiations solaires diffuse repose sur une représentation de la voûte céleste. SOLENE intègre un modèle de radiance qui permet de déterminer le flux solaire diffus afin de prendre en compte les effets directionnels (*Hénon, 2008*). Solene contient plusieurs types de ciel (ciel clair, ciel couvert, totalement ou partiellement couvert par exemple) et qui prend aussi en compte la nébulosité et l'opacité nuageuse, lui permet de déterminer la radiance grâce à ces modèles de ciel. (*Athamena.K, 2013*). Dans le modèle Solene, le ciel est considéré comme un émetteur isotrope d'énergie et de lumière (*Groleau et Miguet, 1998*).

L'incidence de l'énergie solaire directe et diffuse sur les facettes d'un fragment urbain dépend de la position du soleil, des conditions du ciel et des propriétés géométriques des facettes (orientation et inclinaison), permet de d'obtenir l'énergie solaire globale incidente pour chaque facette et pour chaque pas de temps.



Figure V.10 : *Ensoleillées des espaces publics.* Source : F.Miguet;2007.

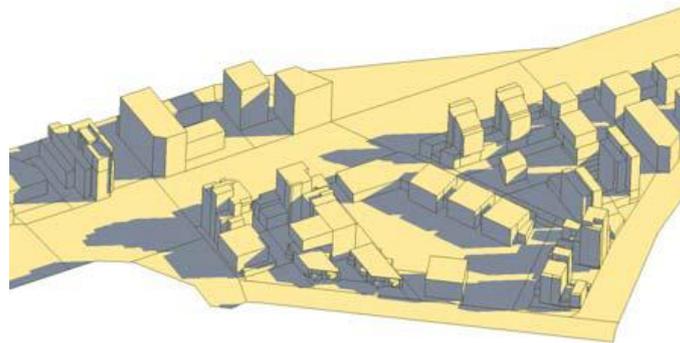


Figure V.11 : *Tracé d'ombres du 9^{ème} jour du mois de Juin.* Source : F.Miguet;2007.

3. LE PROTOCOLE DE LA SIMULATION

La présente partie consiste à la simulation numérique à l'aide du logiciel SOLENE, dans l'intérêt d'évaluer le gisement solaire dans la ville de Biskra-notre cas d'étude- qui s'est développé en deux phases successives ; la première est l'élaboration de la modélisation numérique afin d'estimer la quantité d'énergie globale incidente en pourcentage, ensuite une évaluation de ces résultats en fonction de leurs viabilités vis-à-vis des surfaces du volume bâti des prototypes sélectionné pour l'étude.

3.1. L'enchaînement des étapes de la modélisation

Dans l'intérêt d'identifier la configuration urbaine la plus adéquate aux différentes applications solaires dans les conditions spécifiques d'un climat aride et semi-aride, il est primordial d'évaluer leurs potentiels solaires.

La procédure de l'évaluation du potentiel d'utilisation de différentes technologies et systèmes solaires applicables (utilisation d'énergie solaire passive et active, photovoltaïque) ; sera appliqué selon la méthode de **R.Compagnon**, suivant trois principales étapes :

3.1.1. Le calcul de l'énergie solaire globale

Avant le déploiement d'une installation urbaine de l'énergie solaire, il est indispensable de modéliser la ressource solaire locale, pour estimer le taux de cette énergie incidente.

Dans cette étape initiale on va d'abord calculer l'énergie solaire globale mensuelle, saisonnière, et annuelle ; des trois configurations urbaines déjà identifiées exprimant des caractéristiques urbaines différentes et essentiellement des taux de densité variés ; et cela s'opérera dans les conditions climatiques les plus défavorables de l'année.

Cette énergie rayonnée par le soleil dépend du type de ciel, du moment de la journée et aussi de la saison.

Il est inévitable de signaler que cet outil de simulation (SOLENE) ne fournit pas dans ces résultats finaux l'énergie solaire globale cumulée ; ce qui est considéré comme une inopportunité, ceci nous a conduits à adopter un procédé pour le calculer. Les étapes détaillées de cette phase sont structurées dans le schéma ci-dessous :

N.B :

- **J₁** et **J₂** sont les deux journées représentatives de ces deux saisons
- **S₁** et **S₂** sont les deux saisons représentatives de l'année Estivale et Hivernale

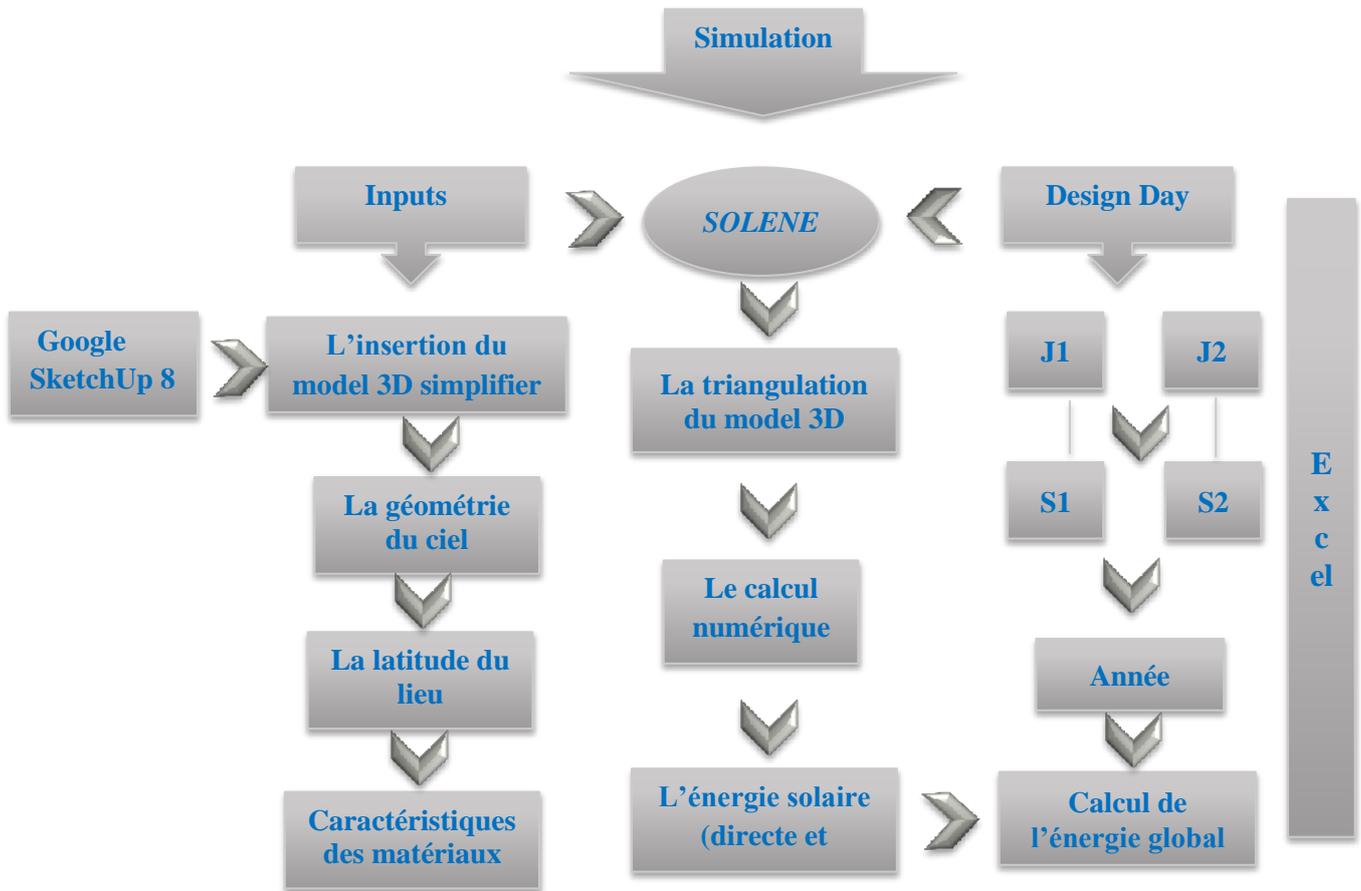


Schéma V.6 : Processus de l'évaluation numérique de l'énergie solaire. Source : Auteur.

Donc le procédé adapté pour calculer cette énergie cumulé a poursuit les quatre opérations ci-après :

I. En premier lieu la création des modèles 3D idéalisés des configurations urbaines a examiné ; à l'aide du logiciel de conception assisté par ordinateur *Google SketchUp8*.

Une opération de triangulation doit être exécutée sur le modèle 3D après avoir été importé au logiciel de simulation, dans le but de diviser l'enveloppe d'ensemble à des petites unités de surface afin de permettre l'évaluation précise de l'énergie solaire sur chaque portion de l'enveloppe.

II. En seconde lieu on a procédé à la création du ciel qui caractérise les deux journées (J_1 et J_2) représentatives (le 4 Janvier et le 21 Juillet) des deux saisons (S_1 et S_2). La simulation numérique par le logiciel SOLENE est ensuite exécuté pour chacune des journées heure par heure pour évaluer les radiations produites par ces modèles ; pour pouvoir exploiter ultérieurement ces données dans l'évaluation de l'énergie solaire.

III. La troisième opération est celle de l'exécution de la simulation de l'énergie solaire directe et diffusé incidente à l'enveloppe de chaque configuration urbaine; pour les deux journées représentatives de chaque saison.

IV. Une dernière opération consiste à l'estimation des valeurs cumulées de l'énergie solaire reçue. On se servira des résultats retenus de l'opération précédente, et à l'aide du calculateur *Excel (2010)*, on obtiendra les valeurs de l'énergie globale annuelle.

Les résultats obtenus de la simulation numérique sont donnée pour chaque heure de la journée uniquement ; mais l'intérêt de notre investigation nécessite de quantifier l'énergie incidente globale annuelle, donc il est impératif de calculer cette dernier dont l'opération se déroulera selon la méthode appliquée par *Mahaya.C (2013)* comme suit :

i. Calculer l'énergie solaire globale incidente pour une journée du lever au coucher du soleil. L'addition des résultats de l'énergie incidente heure par heure de toute la journée nous donne la totalité de l'énergie solaire incidente pour une seule journée de l'année à savoir estivale ou hivernale.

$$G_{cum/j} = (G_{lever} + \dots + G_{midi} + \dots + G_{coucher})XNh$$

ii. Calculer l'énergie solaire globale cumulée incidente pour un mois dont ce dernier est représentatif de toute une saison, estivale ou hivernale. En multipliant les résultats de l'énergie solaire cumulée d'une seule journée représentative par le nombre de jours pour chaque mois on peut retenir l'énergie solaire cumulée pour chaque mois représentatif de chacune des deux saisons estivale et hivernale.

$$\text{Pour le mois de janvier : } G_{cum/ janv} = (G_{cum/j} (\text{le 4 janvier}) \times 31)$$

$$\text{Pour le mois de juillet : } G_{cum/ juil} = (G_{cum/j} (\text{le 11 juillet}) \times 31)$$

iii. Calculer l'énergie solaire globale cumulée incidente annuelle à partir de l'addition des résultats obtenus des opérations précédentes. On l'obtient, par la multiplication de l'énergie cumulée des mois représentatifs par le nombre de mois de l'année, faisant ensuite la totalité de l'énergie solaire cumulée de tous les mois.

$$G_{cum/annuelle} = [(G_{janv} \times 4) \times 2 + (G_{juil} \times 4) \times 2]$$

3.1.2. Calcule des seuils

La quantité du rayonnement solaire reçue par l'enveloppe bâtie n'est pas constante. Elle varie d'un lieu à un autre, d'une configuration urbaine à une autre. Cette quantité n'est pas toujours suffisante pour les applications solaires. Elle peut être suffisante pour un seul type, et parfois pour tous les types.

Les différentes applications solaires exigent certaines conditions pour leurs bons fonctionnements. Entre autre l'emplacement, l'orientation, l'inclinaison ... mais avant tout la quantité de l'énergie solaire globale reçue doit être approuvée.

A cet égard un certain seuil doit être abouti pour chaque application d'un système solaire. Ces seuils ont été déjà normalisés et définis par **R.Compagnon(2004)**.

3.2.1.1. Seuil pour les techniques solaires passives

Le seuil de chauffage passif représente la quantité d'énergie solaire (kWh m^2) recueillie au cours de la période de chauffage entière, (du 15 Septembre au 15 mai) nécessaire pour compenser les pertes de chaleur à travers le vitrage ; autrement dit pour égaliser le bilan énergétique entre les gains et les pertes de chaleur solaires pendant une saison de chauffage. (**Compagnon, 2004**).

Le paramètre G_{seuil} est calculé par la formule suivante :

$$G_{\text{seuil}} (\text{kwh m}^2) = \frac{24 \text{ DDU}}{1000g\eta}$$

Dont :

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), correspond à la situation où la température moyenne de la journée est inférieure à la température de référence (TF).

3.2.1.2. Seuil pour les techniques solaires actives

Les seuils pour des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques sont différents entre façades et toits. (Voir chapitre I §6.5 ; p36)

Techniques solaire	Seuil pour les façades	Seuil pour les toits
Photovoltaïques	800 [kWh/m ² .an]	1000 [kWh/m ² .an]
Thermiques	400 [kWh/m ² .an]	600 [kWh/m ² .an]

Tableau V.2 : Valeurs de seuils des systèmes solaires actifs. Source: R.Compagnon, 2004.

Les résultats donc obtenus de la précédente opération nécessitent une évaluation afin d'approuver la faisabilité de ces systèmes, sur la base de ces seuils.

3.1.3. Les surfaces adéquates aux applications solaires

Dans le but déterminer des surfaces de l'enveloppe bâtie adéquate aux conditions des seuils, et on se servira des valeurs de l'énergie globale obtenue dans l'étape antérieure, à cette fin on va examiner chaque surface de triangle composant le volume bâti de chaque configuration urbaine étudiée.

Cette étape va nous aider à choisir, parmi les configurations examinées, laquelle qui présente les valeurs les plus élevées des surfaces appropriées aux technologies solaires, le chauffage solaire passif, les collecteurs thermiques et photovoltaïques.

Le schéma suivant illustre le procédé de l'étape finale de travail. C'est une filtration de triangles. Un ensemble d'opérations sur *Excel (2010)*, permet la sélection de triangles qui présentent des valeurs d'énergie solaire, similaires ou supérieurs aux valeurs de seuils.

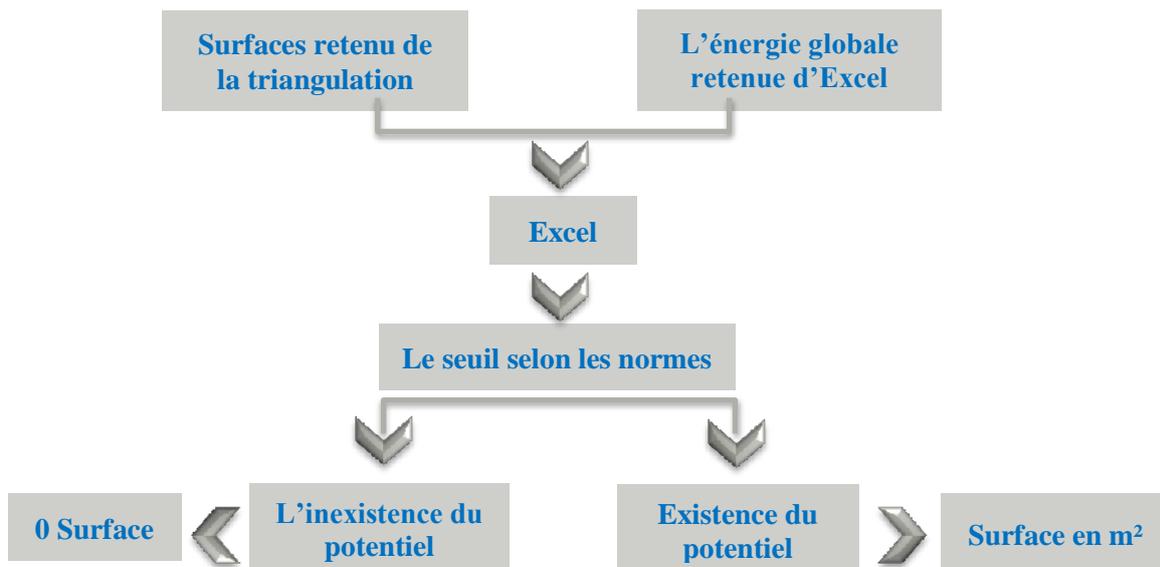


Schéma V.7 : Processus de la viabilité des surfaces de l'enveloppe bâti. Source: Auteur.

CONCLUSION

Les efforts visant à re-calibrer la demande croissante d'énergie ; comprendront une stratégie de lutte, beaucoup de recherches ont été élaborées dans ce sens, plusieurs méthodes et un nombre important d'outils et de techniques ont été développés afin d'aborder ces questions.

Dans ce chapitre on a discuté les méthodes, outils et les techniques disponibles d'évaluation de potentiel solaire dans les zones urbaines, et qui aide à l'amélioration de la qualité urbaine.

Dans l'intérêt d'évaluer le gisement solaire de notre cas d'étude-la ville de Biskra- pour déterminer la viabilité des applications solaires passives et actives ; les méthodes présentées dans ce chapitre nous ont guidé à élaborer notre méthode de recherche qui répond aux objectifs de notre étude et de choisir l'outil approprié à celle choisie.

La méthode proposée et appliquée par **R.Compagnon** dans plusieurs études et sur différents cas s'est avérée la plus appropriée à nos objectifs d'étude et a été sélectionnée afin d'examiner le gisement solaire.

Après avoir choisi la méthode, le logiciel utilisé dans cette dernière nous manquait et cela nous à mener a trouvé une alternative. Le logiciel thermo-radiatif *SOLENE* a été choisi pour l'application numérique de cette méthode sur le cas de notre étude qui sera présentée dans le chapitre suivant, tout en sélectionnant des prototypes représentatifs du tissu de la ville de Biskra dans sa globalité.

CHAPITRE VI

CAS D'ETUDE

INTRODUCTION

Le développement croissant des villes exerce une influence prépondérante sur la consommation énergétique du parc immobilier, en Algérie comme dans le reste du Monde.

La ville de Biskra ne fait pas exception ; et a connu un développement urbain accéléré, dont on distingue une variation morphologique de son tissu urbain, de ce fait sa demande énergétique augmente de plus en plus, ce qui engendre des effets néfastes sur la qualité de vie des citoyens. De par la situation géographique importante qu'occupe la ville de Biskra son climat aride et semi-aride offre un gisement solaire énorme qui peut contribuer à différentes applications solaires.

Dans ce chapitre on va présenter le cas de notre étude afin d'en tirer les prototypes représentatifs du tissu de la ville et qui vont servir aux étapes suivantes.

CAS D'APPLICATION : LA VILLE DE BISKRA

1. PRESENTATION MONOGRAPHIQUE DU CAS D'ETUDE

1.1. Géographie

Bâtie sur la rive droite de l'oued au lit caillouteux qui porte son nom, Biskra, station hivernale et climatique située à la limite Nord du grand désert. Occupée dès l'antiquité romaine sous le nom de *Vescera*, elle fut, avec *Négrine*, la seule oasis à avoir été chrétienne avant de devenir musulmane. (*GUIDE VERT MICHELIN ; 1956*)

Surnommée aussi la “reine des Zibans” (Arrous-ezzibane en arabe), ou “la Nice saharienne”.

Elle est située à une altitude de 120 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie. D'une latitude de 34.48 au Nord et une longitude de +5.44 Est, sur une superficie de 21 671 km²

Entre montagne, et plaine, elle est un carrefour d'itinéraires historiques ralliant Sud, et Nord ainsi que l'Est, et l'Ouest. Elle est enchaînée par deux rivières : Oued fouda descendant du djebel Belezma, et l'oued Abdi descendant du djebel Mahmel qui donnent naissance à l'oued Sidi Zarzour.



Figure VI.1 : Situation géographique de la ville de Biskra. Source : URL : [\[https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Biskra\]](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Biskra). (Consulté le 30/11/2015 à 15h20.)

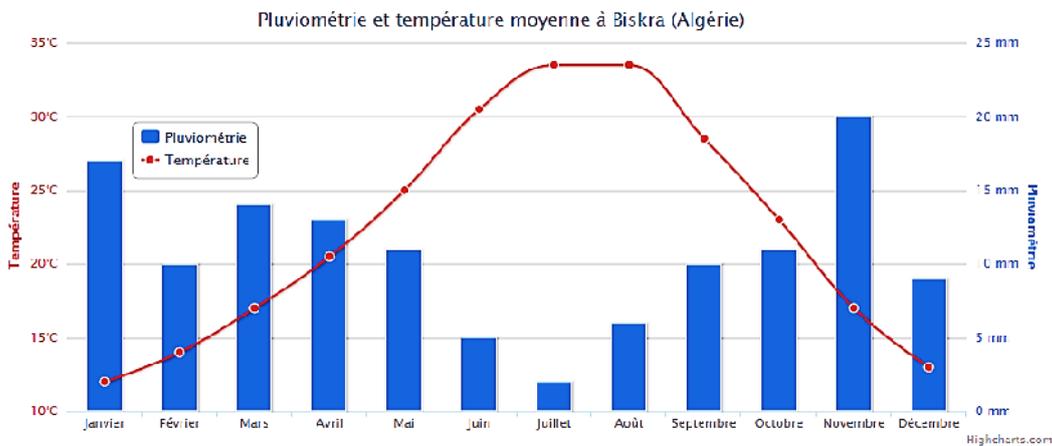
1.2. Contexte générale de l'étude

Par sa situation géographique, la ville de Biskra s'inscrit dans un milieu aride, son climat est appelé un climat désertique, "les caractéristiques de son milieu physique (morphologie et climatologie) la classe dans un contexte particulier et fragile faisant partie des zones arides (...) qui exigent une prise en charge totale sur les plans conceptuels et techniques d'urbanisation jusque-là négligés" (Mahimoud, 2000, p.113).

Au cours de l'année, les températures moyennes annuelles sont élevées atteint 44.9°C, et une valeur minimum atteint -2.1°C, entre autre les précipitations sont pratiquement rares. Son climat est principalement caractérisé par les hivers très froids et secs et des étés secs très chauds.

T(C°)	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne	9.61	10.70	13.93	20.19	22.99	27.99	33.26	32.59	22.19	20.14	14.50	10.36
Max	20.1	20.9	25.7	32.9	34.9	41.2	44.9	44	40.5	31.9	24	20.9
Min	-2.1	-1.2	1	7.3	12.2	15.7	22.5	22.1	15.6	7.2	5	0.8

Tableau VI.1 : Évolution des températures de l'air durant l'année 2011. Source : AMY 2011



Graphique VI.1: Pluviométrie et température de la ville de Biskra. Source: URL:[<http://planificateur.a-contresens.net/climat-DZ-2503826.html#villesproches>] (consulté le 30/11/2015 à 17h00)

1.3. Le type de ciel dominant

Déterminer le type de ciel dominant durant toute l'année à Biskra nous permet de définir le gisement solaire, qui est l'un des objectifs principaux de cette investigation. Cette dernière se fait par la détermination de la couverture nuageuse d'une région donnée pendant la journée, qui s'exprime en pourcentage (%). Les données représentées dans le tableau suivant (VI.2) sont reprises des données satellitaires de la NASA qui donnent le taux de la

couverture nuageuse annuelle moyenne à Biskra durant toute l'année et au cours de différentes heures de la journée.

Lat 34.48 Lon 5.33	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Auo	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne de 10 ans	52.5	53.6	55.9	54.3	55.0	47.1	31.3	35.0	41.4	56.3	56.0	52.2

Tableau VI.2 : Le taux de la couverture nuageuse en %. Source : Daich.S ; p 133 (2007)

1.4. Ensoleillement

Le désert algérien enregistre l'un des plus importants taux d'ensoleillement au monde, avec une superficie de 2 381 741 km², l'Algérie est considérée comme le pays le plus vaste de l'Afrique, du monde arabe et du pourtour méditerranéen. Le désert occupe plus de 2 000 000 km² ce qui correspond à plus de 80% de la superficie totale. En moyenne il y a 3600 heures d'ensoleillement au sud algérien (1779 heures/an à Paris et moins de 1600 heures/an à Londres), classant ainsi l'Algérie parmi les pays les plus ensoleillés au monde, et par conséquent l'endroit idéal pour la production de l'énergie solaire photovoltaïque.¹

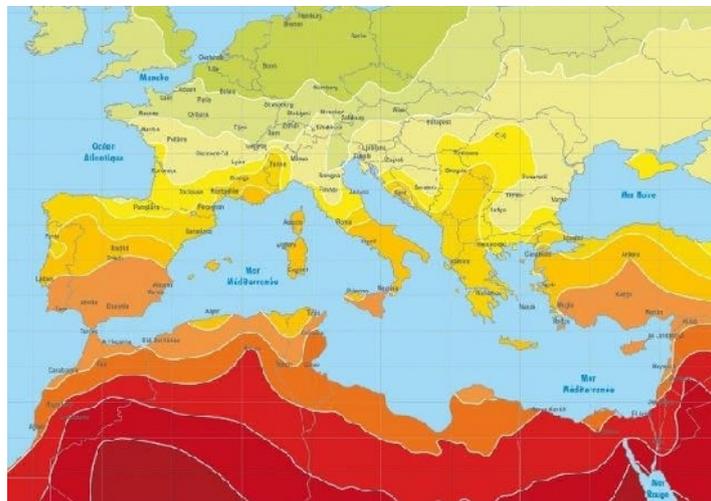


Figure VI.2 : Plan Solaire Méditerranéen (PSM). Source : URL: [<https://portail.cder.dz/spip.php?article2092>] (consulté le 30/11/2015)

¹ URL: [<http://www.tanefdour.com/algerie-et-production-de-l-energie-solaire/>] (consulté le 30/11/2015)

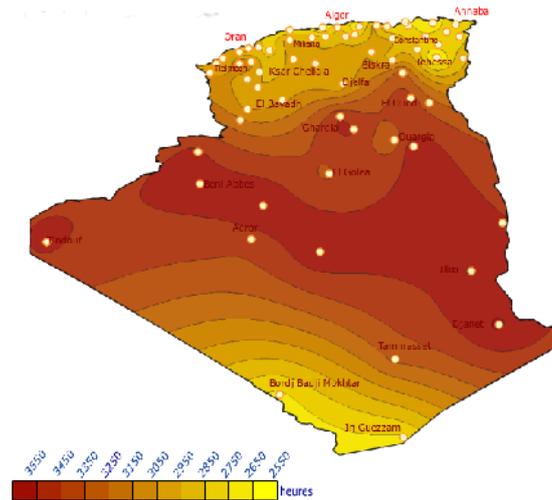


Figure VI.3 : Moyenne annuelle d'irradiation globale reçue sur une surface horizontale par heurs en Algérie
Source : URL : [<http://portail.cder.dz/spip.php?rubrique66>] (consulté le 30/11/2015 à 17h30)

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe.

Biskra ne fait pas exception d'où son gisement est très important avec un rayonnement solaire intense essentiellement en été, et la durée moyenne d'ensoleillement dépasse les 3000 h/an.

1.5. Insolation

Le rayonnement solaire est très important et direct. La durée d'ensoleillement est importante pendant toute l'année et surtout en mois de juillet dépasse les 14h/j; cette forte insolation, dépassant 3500 h/an ainsi la lumière directe du soleil intense qui peut atteindre 900-1100 W/m² sur un plan horizontal.

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Insolation mensuelle (h)	215	211	244	266	324	326	337	301	271	234	219	113	3178
Insolation journalière (h)	07.3	07.4	08.4	09.1	10.1	11.3	11.7	10.6	09.4	08.1	07.1	09.0	09.0
Radiation (Mj/m/jour)	03.2	05.3	08.3	11.1	13.2	14.4	14.2	12.7	10.3	06.8	04.0	02.7	08.9

Tableau VI.3 : Évolution de l'insolation mensuelle et journalière moyenne et de la radiation moyenne journalière durant la série étudiée par Seltzer (1975-1984). Source : Hamel.K, 2005 ; d'après PDAU, 1998, ANAT, 2003, la station météo, l'ONM)

2. CRITERES DU CHOIX DE LA VILLE DE BISKRA COMME CAS D'ETUDE

- L'Algérie lance un programme ambitieux de développement des énergies durables et d'efficacité énergétique, qui s'appuie sur la valorisation des ressources inépuisables.
- Biskra est l'une des villes algériennes qui bénéficie d'un gisement solaire important tout au long de l'année qui permet l'exploitation dans différentes applications solaires.
- Dans la présente investigation on essaie d'examiner le gisement solaire à l'échelle urbaine exactement de la ville de Biskra et de dégager une configuration urbaine qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire pour pouvoir profiter de ces avantages et couvrir la demande énergétique en évaluant le potentiel d'utilisation solaire dans un climat chaud.
- Les tissus urbains de la ville de Biskra sont variés dont on trouve une diversité au niveau des densités: des tissus traditionnels, et populaires denses, des tissus relativement aérés, ainsi que des tissus contemporains (ZHUN Est, Ouest) de faible densité. C'est l'habitat collectif, semi collectif ou individuel, et la morphologie urbaine entre autres les typologies urbaines. (*Hamel, 2005*).
- Les tissus urbains de la ville de Biskra offrent une variété des configurations urbaines : variété des hauteurs des bâtiments, des orientations et des dimensions des rues, des typologies des constructions, et surtout une variété de densité du bâti.
- La bonne compréhension de notre milieu d'étude et la bonne lecture de ses caractéristiques permet d'identifier les typologies urbaines composant le tissu de la ville à travers l'étude du développement morphologique des formes urbaines qui nous mènera à sélectionner les échantillons à examiner.
- L'habitat représente le secteur le plus consommateur d'énergie c'est pour cette raison qu'on a opté pour le choix de l'étude et l'application sur des quartiers résidentiels.
- La disponibilité des documents ainsi que les informations pour l'application et la modélisation sont des facteurs très importants pour le bon déroulement de l'étude.

3. L'URBANISATION A BISKRA

L'appartenance de Biskra à la région dite des Ziban et notamment l'influence des conditions climatiques, a induit une morphologie et une organisation spatiale spécifique à cette région. Elle est caractérisée par un même processus d'évolution du tissu urbain. (*Sriti & al, 2004*). Trois types de tissus composent l'armature urbaine de chaque groupement : les

noyaux traditionnels, les tissus de la période coloniale, et les extensions récentes. (*Zine, 1994*). Ce qui traduit l'importante mutation qu'a connu le développement urbain à Biskra, donnant naissance à différentes formes urbaines à chaque époque.

Pour Analyser le contexte urbain de Biskra, et pour dévoiler sa morphologie ainsi que ces configurations urbaines, il a été décidé de se fonder sur la littérature en parcourant des études antérieures traitant des sujets connexes. L'étude typo-morphologique effectuée par *Hamel.K (2005)*, et celle de *Naidja.A (2014)*, traitent l'évolution de l'urbanisation dans ses dimensions à la fois diachronique et synchronique du processus de développement des formes urbaines de la ville. Elles ont mis en exergue les caractéristiques des tissus urbains, leurs aspects morphologiques ainsi que les modes d'urbanisation et les outils d'intervention qui ont contribué à la configuration actuelle de la ville. Le but de *Hamel.K(2005)* était d'aboutir à travers cette analyse à dégager les traits majeurs caractérisant l'ensemble des tissus urbains formant la ville; afin de déduire ses typologies.

Avant de passer à l'analyse liée au gisement solaire, une brève introduction sur la morphologie urbaine est donnée, suivie d'une description et la catégorisation des types des configurations urbaines.

3.1. L'époque précoloniale

Selon les écrits de *Ibn Khaldoun*, la ville de Biskra construite à l'époque du moyen âge par les Musulmans (1332-1402) a disparu totalement (*Agli.N, 1988*), la ville traditionnelle qui remonte à la période turque. Ce noyau traditionnel est fondamentalement un ksar. Il se présente sous la forme d'un groupement d'habitat compact généralement fortifié et entouré d'une vaste palmeraie (*Zine, 1994*). Nommée vieux Biskra (*Biskra legdim*), composée de sept villages connus sous le nom de (*M'cid, Bâb Darb, Bâb El Fath, Guedacha, Ras El Guerria, Medjniche, El Korra*). La structuration linéaire de l'habitat à l'intérieur de la palmeraie suivant un tracé régulateur formé par les seguias constitue la spécificité de la ville de Biskra. (*Naidja.A, 2014*).

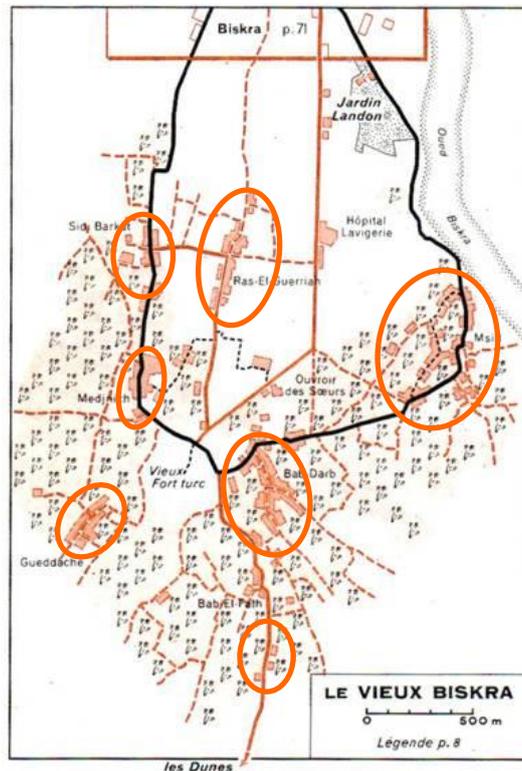


Figure VI.4 : Carte du vieux Biskra et les sept villages de l'époque précoloniale. Source : URL: [\[http://algerroi.fr/Alger/biskra/textes/2_biskra_description_guide_vert_michelin.htm\]](http://algerroi.fr/Alger/biskra/textes/2_biskra_description_guide_vert_michelin.htm) (Consulté le 13/02/2016 à 18h00)

3.2. L'époque coloniale

L'époque coloniale remonte au début du 19^{ème} siècle, en dehors de la palmeraie et du côté nord de la ville ; le tracé parcellaire en échiquier distingue l'intervention urbaine de l'armée Française. Ceci a donné l'apparition d'une deuxième composante urbaine à Biskra, “.. le prétexte de l'oasis, et l'organisation complexe liés en rapport entre les habitants, et les jardins qui assurent leur substance devient secondaire. La coupure ville oasis s'amorce en même temps que la coupure habitat coloniale habitat indigène”. (Agli.N, 1988).

Un nouveau type de tissu urbain est apparu : une organisation en îlot régulier selon un tracé parcellaire. Des îlots identiques de 40x40 séparés par la rue carrossable rectiligne. Ces derniers, composés d'association des parcelles de formes géométriques simples.

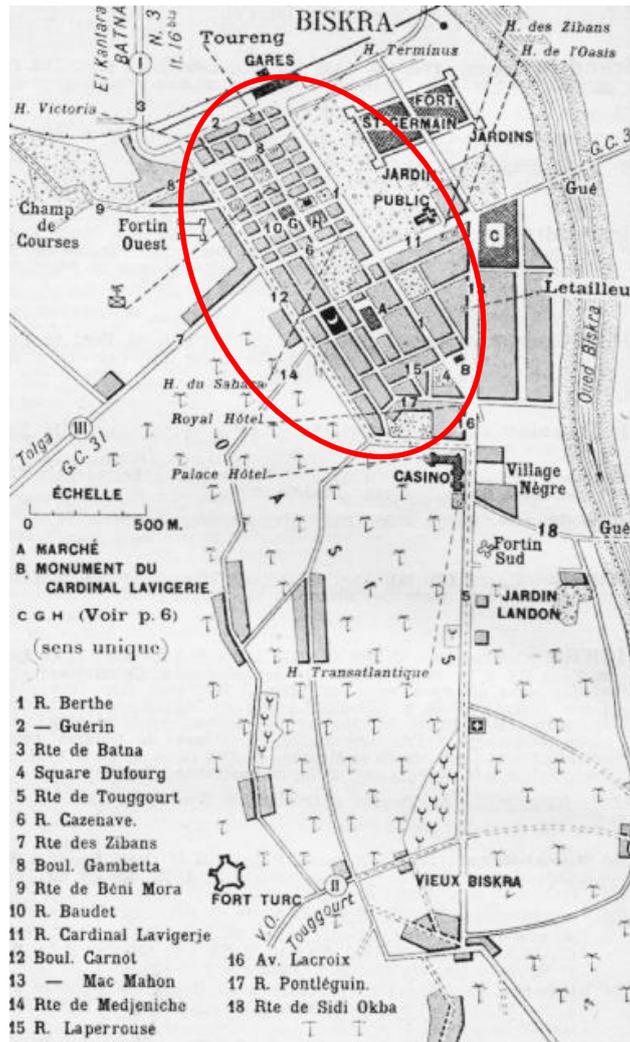


Figure VI.5 : Carte de la situation initiale de la ville de Biskra. Source : URL: [\[http://tenes.info/galerie/BISKRA/plan_de_la_ville/\]](http://tenes.info/galerie/BISKRA/plan_de_la_ville/). (Consulté le 13/02/2016 à 17h50)

Selon *Naidja.A(2014)* l'extension de la ville a connu un nouveau mode d'urbanisation inspiré du damier, mais sans respect de régularité, et l'assemblage des constructions sans aucune logique dimensionnelle ou formelle ; résulte d'une morphologie très variée des îlots, ce qui a donné naissance d'une image de la ville dans un cadre illicite et alors l'apparition à un nouveau type de tissu urbain non planifié.

Vers la fin de la période coloniale un programme de logements de caractère sociaux a donné lieu à l'apparition de deux types de tissus urbains, d'une part des constructions en barre des logements collectifs ont occupé la partie sud du damier. Et d'autre part un autre type d'habitat à caractère précaire, connu sous le nom de l'habitat de recasement. (*Alkama.D, 1995*).

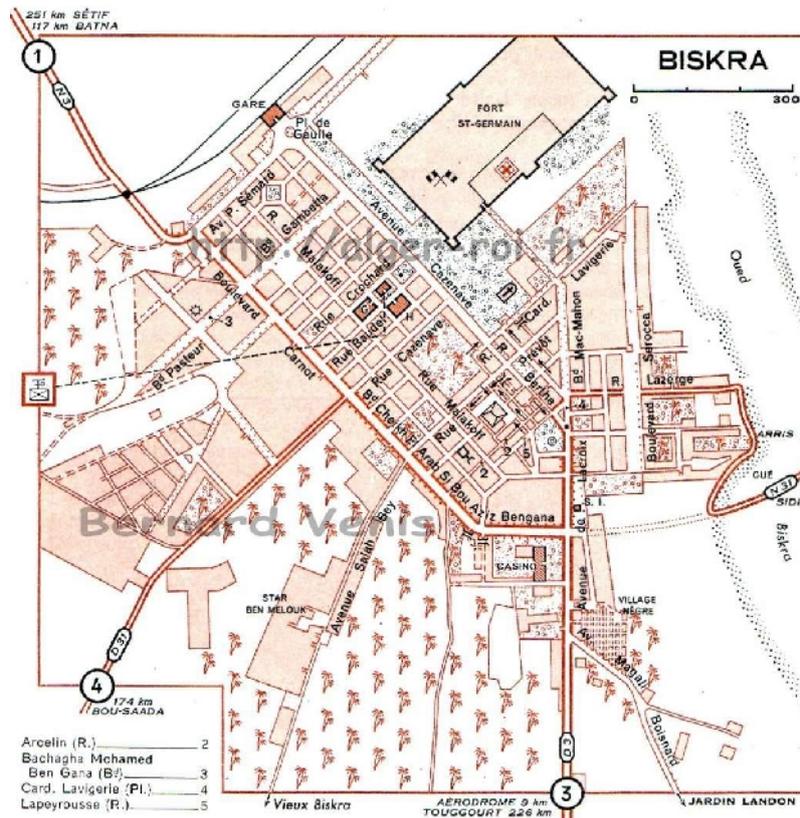


Figure VI.6 : Carte du quartier coloniale à son époque. Source : Guide vert Michelin, édition 1956 sur site en avril 2012 ; URL : [http://alger-roi.fr/Alger/biskra/pages/0_plan_biskra_ville_guide_vert.htm]. (Consulté le 13/02/2016 à 18h30)

3.3. L'époque post coloniale

Cette période est marquée par le manque de la gestion urbaine, aucun programme d'urbanisation en plus. La ville s'est développée à cette époque d'une manière anarchique sans aucune orientation, ni urbanisation, dans un cadre de spéculation foncière, ainsi une remarquable extension urbaine au détriment de la palmeraie du côté Sud et vers la voie ferrée du côté Ouest.

A partir de 1974 Biskra est nommée comme Wilaya ce n'est qu'à ce moment, qu'elle a commencé à connaître une nouvelle époque de croissance urbaine, d'une manière systématique. Utilisant les zonings définis généralement, dans le cadre des (Z.H.U.N), par application des orientations d'une politique de développement nationale du secteur urbain, déterminant la composition urbaine de la ville.

Il en résulte que la ville de Biskra avec ses deux fragments "ZHUN EST", et "ZHUN OUEST" une nouvelle image ne reflète pas un lien avec la ville traditionnelle, ni celle de l'époque coloniale. (Naidja.A, 2014).

Suite à cette lecture et l'aperçu rapide du tissu urbain de la ville de Biskra à travers le temps en se référant sur les études antérieures, il est clair que chaque période est composée de tissu urbain de morphologie et de typologie très distincte.

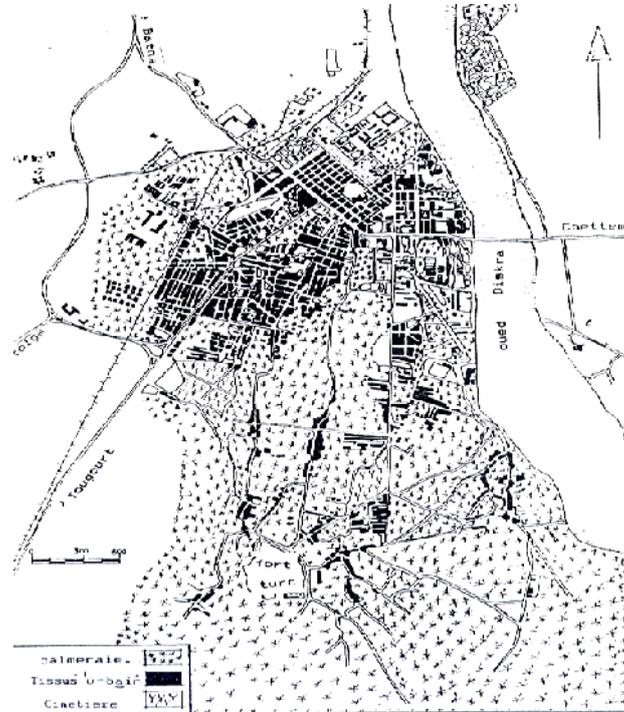


Figure VI.7 : Carte de la situation initiale de la ville de Biskra en 1972. Source : PUD 1974 de Biskra (CADAT).

De ce fait on atteste que son tissu est le résultat de la juxtaposition de plusieurs types de tissus urbains, sans aucune logique de composition ou de coexistence ; tel que **Hamel. K(2005)** le souligne : “.....La lecture de l'évolution du processus d'urbanisation dans cette ville fait paraître un passage brusque des formes urbaines traditionnelles construites en harmonie parfaite avec les éléments de son environnement naturel et tout particulièrement avec le climat, la palmeraie et l'eau, à des formes urbaines nouvelles basées sur le système de typification des ZHUN et des lotissements issus d'un schéma d'aménagement standard, aboutissant sur des tissus urbains lâches, ce qui n'étaient pas sans impact sur le climat.”

À cet égard le tissu de Biskra se présente aujourd'hui, comme patchwork de plusieurs types de tissus urbains qui va du tissu traditionnel nécessitant une rénovation au tissu contemporain qui nécessite une restructuration.

4. LES TYPOLOGIES URBAINES DE LA VILLE DE BISKRA

Une étude typologique est nécessaire pour notre sujet d'investigation. On se contente en un premier temps de reproduire les résultats des études typologiques antérieures élaborées par *(Hamel. K, 2005) & (Naidja.A, 2014)* afin de caractériser les différentes formes urbaines qui composent le tissu urbain de la ville de Biskra, pour pouvoir par la suite choisir les configurations les plus représentatifs, mais avec certaines rectifications (de la part de l'auteur) dues aux objectifs escomptés. Cette étude, dont l'outil est l'observation non participative, s'est basée sur les critères de classification suivants :

- A. Epoque de l'apparition.
- B. Critères urbanistiques : structure urbaine, et tracé parcellaire, la variation de la densité, variation des typologies urbaine.
- C. Critères architecturaux : enveloppe bâtie, masse physique.
- D. Mode d'urbanisation, et de production.
- E. Critère historique : période d'apparition.
- F. Critère juridique : statut juridique.

L'objectif de cette classification, est de mettre en évidence les propriétés, et les caractéristiques qui distinguent ces tissus, et de donner une lecture morphologique primaire de la ville.

4.1. La classification des typologies du tissu urbain de la ville de Biskra

Afin d'extraire les prototypes représentatifs du tissu urbain de la ville on doit faire un classement préalable des différentes typologies composant le tissu de la ville. Le classement des typologies s'est fait sur trois niveaux :

1. Biskra a connu une extension importante durant la dernière décennie d'où une évolution remarquable de l'urbanisation du tissu ce qui a engendré un amalgame de tissu de différentes typologies variées et assez riches.

Un classement préalable à l'échelle de la ville, des différents tissus urbains, qui a permis de distinguer les types de tissus urbains composant la ville.

La classification de ces derniers sur un ordre logique afin de pouvoir regrouper les typologies distincts qui forment le tissu de la ville de Biskra, on a eu recours aux résultats des études antérieures avec quelques rectifications.

La carte ci-contre représente l'identification des différentes typologies urbaines de la ville comme une 1^{ère} lecture du tissu pour qu'en suite seront regroupées dans un tableau.

2. Après avoir fait la lecture et l'identification des tissus composants la ville ; on passe à leur classification selon leur degré de densité. En se basant sur des seuils déterminés de densité urbaine, selon les normes définies par Zucchelli, qui distingue trois cas (*Alkama, 1995, p.93*) :

- I. **Tissu urbain très dense:** Constitué de constructions mitoyennes qui forment des rues et des ruelles et des impasses étroits.
- II. **Tissu urbain dense:** Constitué de constructions mitoyennes qui forment des îlots réguliers et des rues larges.
- III. **Tissu urbain lâche:** Avec l'existence des espaces libres entre les constructions, qui se présentent sous formes d'immeubles ou de constructions éparpillées.

Cette hiérarchisation nous a permis de dégager les catégories des prototypes à examiner. Le résultat de cette classification est présenté dans le tableau ci-dessous.

3. Des prototypes sélectionnés selon leur degré de représentativité, ainsi qu'une classification typologique préalable selon le niveau de densité et de compacité du cadre bâti, et aussi selon les critères reliés aux objectifs de l'étude.

Pour cela les prototypes qui ont été choisis présentent des niveaux de densité urbaine variés. Chaque catégorie (très dense, dense, lâche) se compose d'un ensemble de types de tissus (ou types d'habitat) qui se distinguent entre eux par un ensemble de caractéristiques morphologiques.

Dans ce qui suit un tableau présente la classification des tissus urbains de la ville de Biskra suivant les étapes et les critères déjà mentionnés.

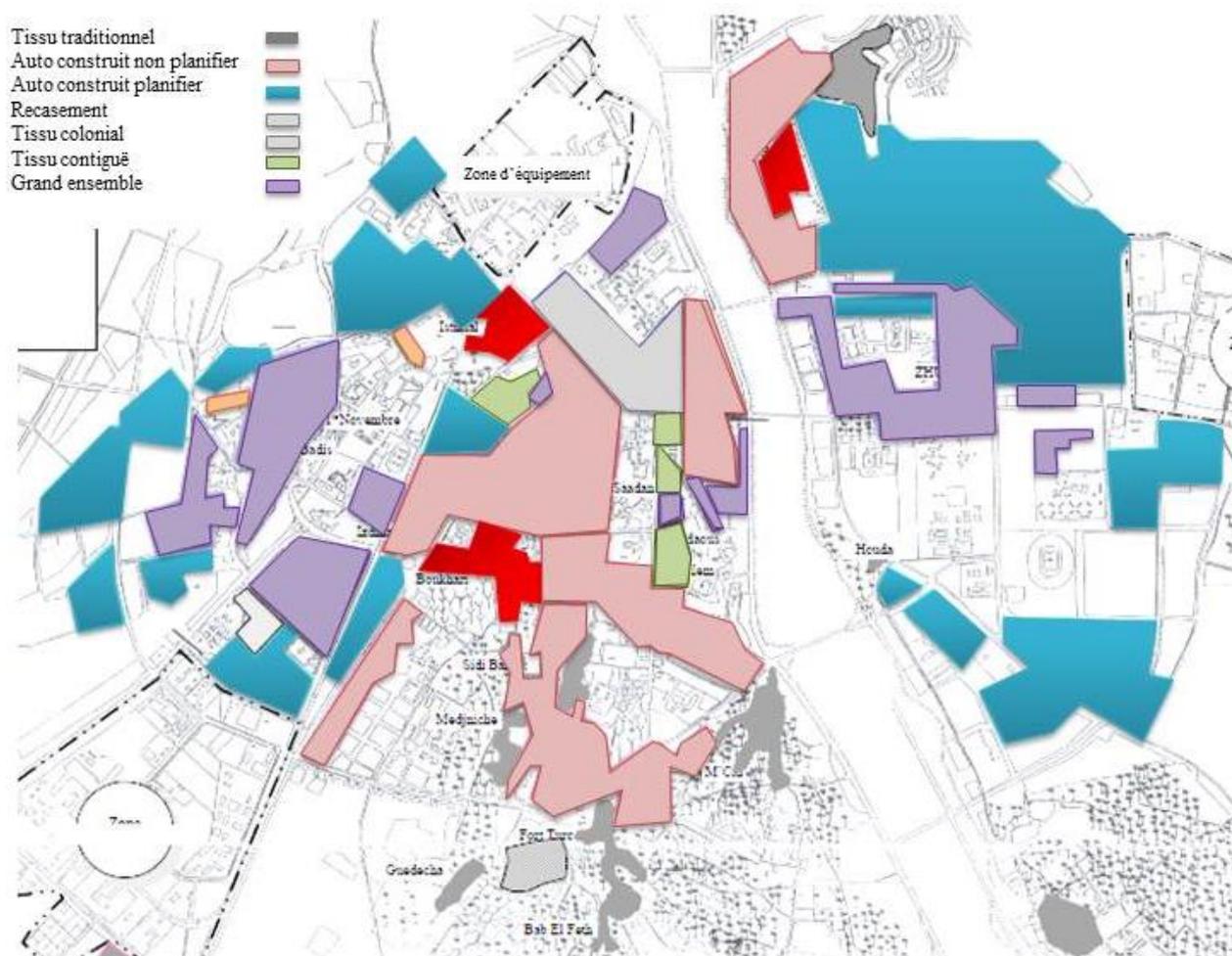
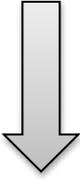
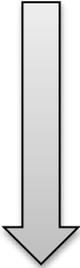
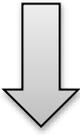


Figure VI.8 : Identification des localisations des différents typologie des tissus urbains de la ville de Biskra.
 Source : Hamel. K (2005)

Epoque d'apparition	Catégorie	Type de tissus	Quartiers composants	Localisation	Observation
L'époque précoloniale: Depuis 1650 (la période de l'invasion Ottomane)  jusqu'à la colonisation française de 1848	TRES DENSE	Traditionnel	<ul style="list-style-type: none"> - Bab-Darb - Bab-El-Fath - Guedacha - Medjniche - Sidi Barkat - Ras-El-Gueria - Feliache - M'cid 	-Au Sud, dans la vieille ville appelée "Biskra Legdima", immergé à l'intérieur de la palmeraie.	Type retenu Échantillon : quartier M'cid
		Auto construit non planifié	<ul style="list-style-type: none"> - Quartier Salah Bey - Quartier Keblouti. - Quartier Star Melouk - Haouzet El Bey - El Boukhari - Quartier Sidi Ghzel - Quartier El-Alia - Autres 	La zone intermédiaire entre le Damier colonial et la vieille ville - Au côté sud de la ville, derrière la zone industrielle. - Sur la rive est d'Oued Biskra. - A l'intérieur de la palmeraie.	Type retenu Échantillon : quartier Star Melouk
L'époque coloniale: Depuis colonisation française de 1848  1932, plan Derveau  1958 (Plan de Constantine)	DENSE	Colonial	- Le quartier en Damier.	<ul style="list-style-type: none"> - Délimité du côté ouest par la voie ferrée, du côté sud par l'avenue El Amir Abdelkader, du côté est par l'axe de Souk El-Hachiche et du côté nord par les jardins publics. 	Type retenu Échantillon : le quartier en Damier
		Auto construit planifié (Lotissement)	<ul style="list-style-type: none"> Lotissement de Hay El Moudjahidine (270 lots). - Lotissement El Houria (156 lots) - La coopérative de la route de Batna (55 lots)... - Les coopératives du Moustakbal. - Lotissement d'El-Alia (4 quartiers ; A, B, C, D) - Les lotissements de la partie Nord de la route de Chettema (1258 lots)... 	<ul style="list-style-type: none"> - Partie ouest de la ZHUN. - La partie Est de la ZHUN 	Type retenu Échantillon : lotissement de Hay El Moudjahidine
		Contigu	<ul style="list-style-type: none"> - Dalaâ - Chatonniez - Keblouti 	<ul style="list-style-type: none"> - L'espace intermédiaire entre le Damier et la palmeraie. - Sur les deux abords de l'avenue Zaâtcha, Hakim Saadan et Salah Bey. 	
 jusqu'à la colonisation française de 1962		Recasement	<ul style="list-style-type: none"> - Zemala - Quartier Salem - Quartier El Boukhari - A El-Alia nord 	<ul style="list-style-type: none"> Délimité Par l'axe El Hakim Saâdan de l'ouest. - Coté est du cimetière Musulman (côté sud de la ville). - Sur la rive est d'Oued Biskra. 	

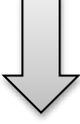
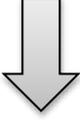
<p>L'époque postcoloniale:</p> <p>De l'Indépendance 1962</p>  <p>En 1974 promulgation comme wilaya</p>  <p>Les réformes de 1990</p>  <p>A nos jours</p>	LACHE	<p>Les grands ensembles (habitat collectif)</p>	<p>- Quartier El Badr</p> <p>- Cités : 500 logts, 322 logts, 746 logts, 367 logts, 50 logts, 100 logts, 300 logts, Bendjidi, 200 logts...</p> <p>- Cités : 830 logts (Ben Badis), 1000 logts (El Amel), 244 logts (Darnouni), 250 logts (El Izdihar), 500 logts, 73 logts (ENICAP), 726 logts...</p>	<p>- Au nord du quartier Chatonnier, au sud du Damier, à l'est de l'avenue Hakim Saâdan.</p> <p>- La ZHUN Est.</p> <p>- La ZHUN Ouest.</p>	<p>Type retenu Échantillon : -Quartier El Badr -500 logts</p>
		<p>Individuel Préfabriqué</p>	<p>- Les 100 baraques</p> <p>- Les 60 baraques</p>	<p>- Sur les vestiges historiques</p> <p>- Sur la route de Tolga, au nord de la zone industrielle.</p>	
		<p>Habitat type villa</p>	<p>- Les 150 villas des enseignants</p> <p>- Les villas cadres</p> <p>- Les villas de résidence de la Wilaya</p> <p>- Autres...</p>	<p>- Au nord du lycée Laarbi Ben Mhidi.</p> <p>- ZHUN ouest, du côté du complexe thermal.</p> <p>- Sur l'axe de Zaâtcha.</p> <p>- Sur le front ouest d'Oued Biskra.</p> <p>- Éparpillées à l'intérieur de la palmeraie</p>	

Tableau VI.4 : Classification typologique des tissus urbains de la ville de Biskra selon leur densité et l'époque de l'apparition. Source : adapté par l'auteur -avec rectification, d'après Hamel. K (2005) p : 125

5. LE CHOIX DE PROTOTYPES POUR L'ETUDE

5.1. Critère de choix de prototypes

Les prototypes déjà sélectionnés par *Hamel, K (2005)* vont servir de base à l'application de ce travail cela pour les raisons suivante :

✓ La variété des modèles urbanistiques à travers l'histoire et l'évolution de la ville ce qui a façonné le tissu actuel, d'une étape à une autre une rupture importante avec les anciens tissus, en d'autres termes c'est une juxtaposition de modèles urbanistiques variés (*Agli, 1988*). D'un modèle traditionnel inséré parfaitement au sein de la palmeraie, avec des groupements bâtis compacts, structurés par des cours d'eau. A l'encontre du modèle colonial qui frappe par la rigueur de son plan, les tissus urbains populaires se sont développés spontanément, sans aucun outil d'orientation ; mais ce qui les distingue est la forte densité, se manifestant en une part très importante du bâti par rapport à l'espace libre. Par ailleurs, les formes urbaines nouvelles sont le résultat de modèles urbanistiques typiques. Fragmentation, dispersion et aération excessive, sont les principales caractéristiques de ces tissus. (*Hamel.K, 2005*).

- ✓ Selon leurs représentativités des classes typologiques dans lesquelles s'inscrivent.
- ✓ Selon leur degré de densité qui est un critère primordial dans notre étude.
- ✓ La variété morphologique : forme, orientation, dimensions et types de rue (rue, ruelles, impasse), ouverture au ciel, matériaux, des limites physiques, qui est le second critère de choix pour l'étude.
- ✓ Selon leur exposition au soleil, d'où on ne trouve pas d'obstacle naturel ou artificiel qui empêche les rayons solaires.
- ✓ La disponibilité de la documentation graphique et numérique ainsi que des informations nécessaires pour la modélisation du modèle 3D à simuler est un critère important de choix.

5.2. La sélection de prototypes

Les prototypes ont été choisis sur la base de l'époque d'apparition, la logique de production, et en faisant appel à nos observations non participatives du contexte d'étude.

Faisant référence aux études antérieures élaborées par *Hamel, K (2005)* ainsi que par *Naidja.A, (2014)*, après avoir fait la classification des différents quartiers (les tissus urbains) de la ville de Biskra il a été nécessaire de faire l'échantillonnage pour passer à l'application.

Les prototypes retenus sont des **prototypes représentatifs**, non probabilistes, c'est-à-dire qu'ils sont sélectionnés selon leurs degrés de représentativité.

Les prototypes choisis ont été hiérarchisés selon trois catégories de tissus urbains comme suit :

La 1^{ère} catégorie de tissus urbains très denses:

1. Type sélectionné : le tissu traditionnel, prototype : quartier M'Cid
2. Type sélectionné : l'habitat auto construit non planifié, prototype : quartier Star M'louk.

La 2^{me} catégorie de tissus urbains denses:

3. Type sélectionné : le tissu colonial, prototype : le quartier en damier.
4. Type sélectionné : l'habitat auto construit planifié (lotissements), prototype: quartier Hay El Moudjahidine.

La 3^{me} catégorie de tissus urbains lâches:

5. Type sélectionné : les grands ensembles, prototype : quartier des 500 logts.
6. Type sélectionné : les grands ensembles, prototype : quartier El Badr (HLM).



Figure VI.9 : Localisation des échantillons retenus. Source : auteur.

“En fait, sur le plan morphologique, cette ville est très hétérogène ; elle présente des tissus urbains très diversifiés, constitués essentiellement : de tissus traditionnels et populaires très denses, de tissus denses de l’époque coloniale et de l’indépendance, et des tissus urbains contemporains lâches, se manifestant surtout dans les grands ensembles”. **Hamel, K (2005).**

5.3. Les caractéristiques des configurations urbaines de prototypes choisis

5.3.1. Typo-morphologie

La typo-morphologie est une méthode d’analyse qui aborde en même temps la morphologie urbaine et la typologie architecturale, étant à cheval entre l’architecture et l’urbanisme.

Plus précisément, cela consiste à penser en termes de rapports la forme urbaine (trame viaire, parcellaires, limites, etc.) et la typologie c’est-à-dire les types de construction (position du bâti dans la parcelle, distribution interne, etc.). Les types s’inscrivent ainsi dans certaines formes urbaines plus que dans d’autres, et de ce fait on pourra distinguer les différences morphologiques entre les différents échantillons sélectionnés.

5.3.1.1. Quartier du M'Cid

Créé en 1650, le quartier traditionnel M'Cid, situé au sud-est de la ville, au sein de la palmeraie, tout au long des seguias. Il était le premier noyau créé.

Son système viaire est linéaire, relativement hiérarchisé, forme parfois des boucles ceinturant le bâti, composé de : rues, ruelles, impasses et passages couverts, dont la largeur est respectivement de : 6-8, 3-2, 1.5-2. Elles sont orientées longitudinalement : Nord sud, Nord-Est/Sud-Ouest, les impasses, les ruelles et les passages couverts sont orientés est-ouest dans la plupart des cas. Leur prospect varie d'un rapport de 0.29 à 3.5. Ces valeurs créent des masques contre les gains énergétiques du rayonnement solaire direct. Les proportions des îlots sont différentes et caractérisés par leur linéarité, dont les éléments de sa morphogenèse sont les seguias comme un tracé régulateur, la palmeraie une limite naturelle, et les rues comme limite urbaine.

En dépit de son irrégularité, le tracé parcellaire est fractionné. Les parcelles ont des dimensions très variées. Le bâti est organisé dans une seule direction, où les habitations sont juxtaposées formant une ligne discontinue interrompue par des vides. Les volumes bâtis apparaissent comme des plots introvertis. Leurs hauteurs varient entre un et deux niveaux.

Le matériau utilisé autrefois était la terre –sous forme de toub- qui est couvert par une couche de terre. (*Hamel, K. 2005*).

Ce tissu est conçu sous forme de groupements compacts éparpillés et ordonnés le long du Zgag (rue étroite) et des seguias. Ce schéma représente le fondement de l'urbanisme oasien qui repose sur une coexistence entre l'habitat, lieu de régénération et renouvellement d'énergie et la palmeraie entant que support économique (*Sriti et al, 2002*). L'insertion des groupements bâtis dans la palmeraie, constitue un élément modificateur du climat dans le sens où elle joue le rôle d'un écran contre l'insolation, les vents forts et l'ensablement, surtout en saison estivale. Ainsi la réduction des températures excessives par l'effet de l'évapotranspiration. (*Hamel, K. 2005*).



Figure VI.10 : en haut vu aérienne du quartier M'cid. Source: URL : [\https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290 (consulté le 23/02/2016 à 22h40)], en bas situation du quartier. Source : PDAU 2013.

5.3.1.2. Quartier de Star Melouk

Le quartier “Star M’louk” se situe à proximité du centre de la ville, limité par l’axe du boulevard Zaatcha à l’Ouest, et avenue Salah Bey à l’Est. Il appartient au type d’habitat individuel auto construit non planifié, qui “représente un processus de production populaire dans un cadre informel et semble avoir remplacé le type traditionnel, par son statut et son mode de production” (Alkama, 1995).

Le système de voirie représente environ 36% de la surface totale. La largeur des rues varie selon son importance (POS, 2004) voie primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire,

respectivement de : 22-10, 10-08, 08-04, 04-02m ; où le prospect varie entre 1.75 et 0.38, et les rues sont orientées : Est/Ouest, Nord/Sud, Nord-Ouest/Sud Est, Nord-Est/Sud-Ouest.

L'îlot représente l'une des caractéristiques morphologiques essentielles dans ce tissu, il est structuré par l'intersection des rues, des ruelles et des impasses. Son tracé se caractérise par son irrégularité formelle. Ils ont des formes de : triangle, parallélogramme, carré, rectangle ou trapèze. En général c'est la forme traditionnelle avec impasses.

Les bâtiments sont accolés formant une masse continue interrompue par les rues seulement, apparaissant ainsi tel que des plots, de ce fait les enveloppes bâties sont très compactes. L'habitation est composée selon une articulation des espaces de part et d'autre d'un espace de distribution (couloir), donnant en revanche un aspect extraverti à l'espace habité. Par ailleurs, la possibilité d'ouverture vers l'extérieur d'un seul côté a poussé les habitants, à créer des Rozna pour l'éclairage et l'aération, ils sont composés généralement de 1 à 3 niveaux. Les maisons sont construites en matériaux locaux (blocs de terre) en système murs porteur, ou en béton (majorité) avec un système poteau poutre.

Ce qui caractérise cet échantillon c'est bien la prépondérance de la composante bâtie au dépend de celle non bâtie avec une emprise du bâti de 0.64, et une densité résidentielle de 60 logts/ha. Au niveau de la parcelle la composante non bâtie est absente : le coefficient d'emprise au sol égale à 1 (le COS moyen est de 2). (*Hamel, K. 2005*).

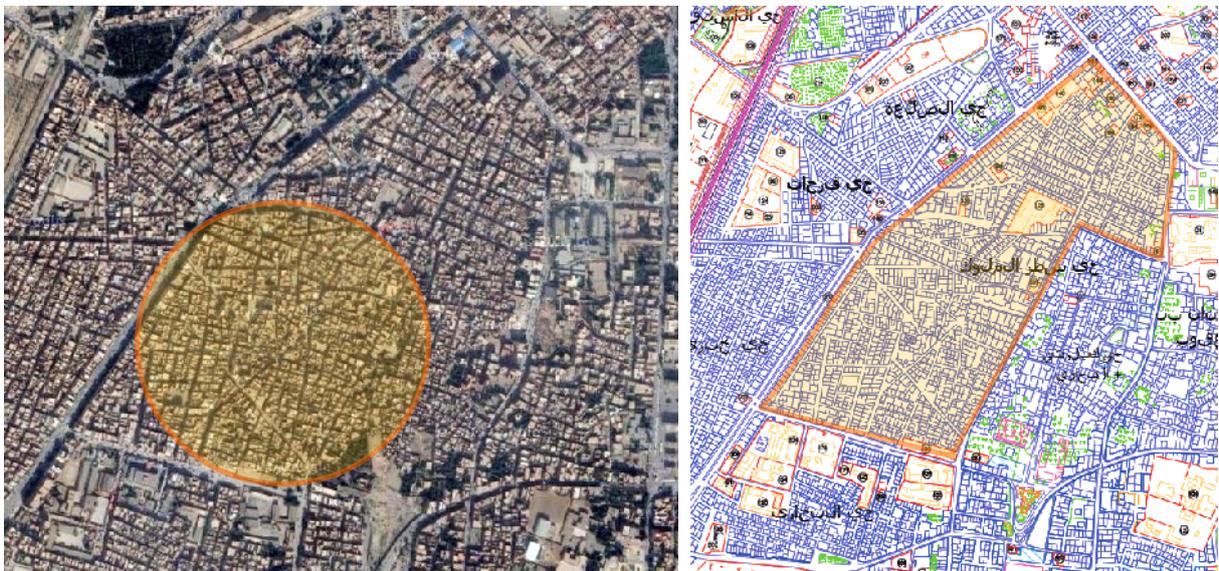


Figure VI.11 : à gauche vue aérienne du quartier star Mlouk. Source:

URL : [<https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290>] ; (consulté le 23/02/2016 à 23h40), à droite situation du quartier.

Source : PDAU 201.

5.3.1.3. Quartier du Damier colonial

Situé au centre-ville ; le Damier colonial délimité par des axes routiers d'une grande importance. Au Sud-Ouest, par l'avenue El Amir Abdelkader, au Nord-Ouest par la gare ferroviaire, au Nord-Est par le jardin public, et de l'Est par l'avenue des Frères Menani. Il appartient au type d'habitat colonial présentant un modèle culturel français implanté sous forme d'un plan en damier à proximité et au sud du fort Saint Germain pour accueillir les colons. (*Hamel, K. 2005*).

La structure urbaine se présente sous forme d'un ensemble d'îlots disposés suivant une trame en échiquier, créant ainsi une armature urbaine formée de rues uniformes et à caractère carrossable (*Sriti et al, 2002*). Le réseau de voirie quadrillé hiérarchisé organisé selon deux directions : Nord-Ouest/Sud-Est et Nord-Est/Sud-Ouest, dont on distingue (POS, 2004) des rues primaires d'une largeur de 12m, des rues secondaires : de 6 à 8.6m et des rues tertiaires : de 6 à 7m, jusqu'à 3m pour certaines rues étroites, de ce fait le prospect varie dans une plage qui va de 0.1 jusqu'à 1.5.

Les îlots sont de forme régulière (carré ou rectangle), et les parcelles tendent vers une forme rectangulaire en profondeur. Le cœur de l'îlot est occupé par des cours et des jardins de dimensions, formes et position variées. La majorité des habitations sont d'un à deux niveaux d'une majorité (95%) RDC+1. Les murs sont porteurs en "toub tine", les planchers en bois avec des toitures en charpente bois couverte de tuile ou des planchers en briques plaines avec des solives métalliques et l'utilisation du ciment comme liant pour le revêtement des façades. Les espaces libres résultant de l'organisation du bâti ainsi qu'une variété des espaces verts publics. (*Hamel, K. 2005*).



Figure VI.12: Vu aérienne du quartier du Damier colonial. Source: URL : [\[https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290\]](https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290) ; (consulté le 23/02/2016 à 22h50).

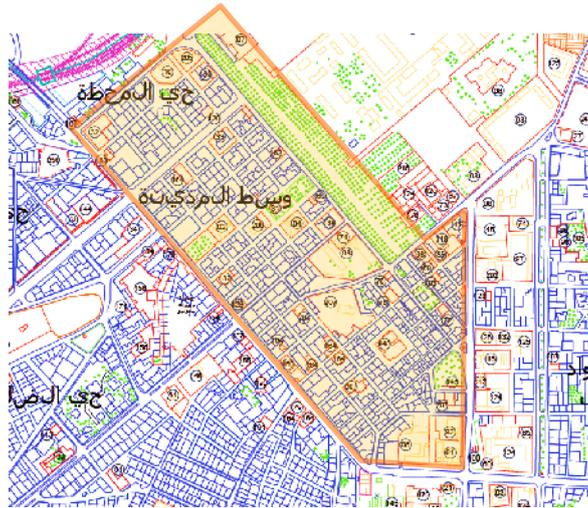


Figure VI.13 : situation du quartier. Source: PDAU 2013

5.3.1.4. Quartier de Hay El Moudjahidine

La confrontation avec le mode de vie et en particulier le mode d'habiter occidental généré par la colonisation a déclenché des mutations de grandes envergures. A l'indépendance ce phénomène s'est accentué sous l'influence des médias. (*Sriti et al, 2004*)

Ce prototype appartient au type d'habitat auto construit planifié, sur un support d'urbanisation appelé lotissement et qui est une procédure d'urbanisme opérationnel (*Alkama, 1995, p.105*). Le quartier se situe dans la ZHUN Ouest, au Nord-Ouest de la ville. La structure urbaine de ce type est conçue selon un zoning définissant le tracé des axes routiers et des îlots, suivant les normes urbanistiques des lotissements. (Cette structure urbaine est identique dans tout le pays). (*Hamel, K. 2005*).

Le réseau de voirie quadrillé non hiérarchisé ; représente (46.27%) de la surface totale, cependant la largeur des voies varie entre 10 et 15m (y compris le trottoir), où le prospect prescrit par la réglementation paraît être appliqué dans la majorité des cas. Il est entre 0.29 et 0.87. L'orientation des rues est : Nord-Ouest/Sud Est, et Nord-Est/Sud-Ouest.

Généralement la forme des parcelles sont identiques, ainsi que la taille. Les hauteurs sont de trois à quatre niveaux, conséquemment ce tissu est peu compact.

Le mode d'organisation spatial extraverti met l'espace bâti sous l'exposition du rayonnement solaire et accentue les échanges de rayonnement. Le système poteau-poutre en béton armé, avec des murs en parpaing à base de béton maigre ou en brique creuse est utilisé dans tout le tissu. Il est notoire que la part des espaces libres publics est très importante.

La densité résidentielle brute est faible, elle ne dépasse pas 27 logts/ha. L'emprise bâtie par rapport à la surface totale urbanisable est 42%. Par contre au niveau de la parcelle le coefficient de forme moyen est 0.82. (Hamel, K. 2005).

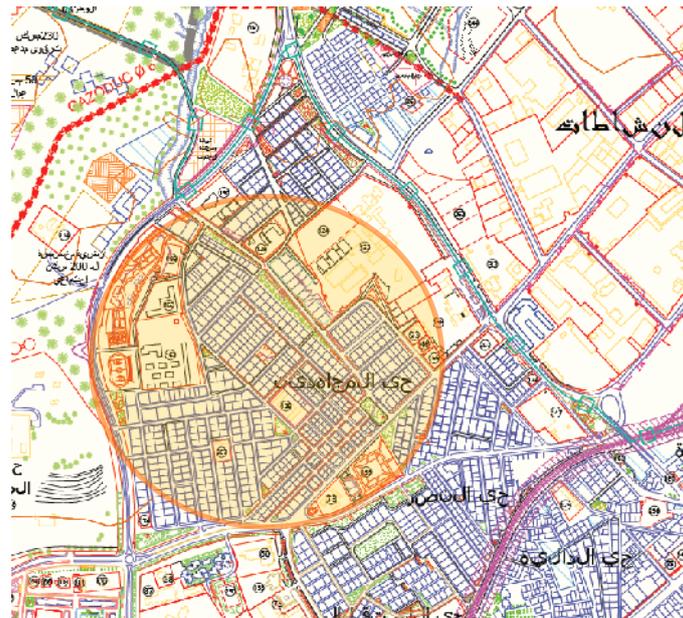


Figure VI.14 en haut vu aérienne du quartier du Hay El Moudjahidine. Source: URL : [\[https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290\]](https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290). (Consulté le 23/02/2016 à 23h10), en bas situation du quartier. Source: PDAU 2013.

5.3.1.5. Quartier des 500 logements

Ce quartier se situe à l'est de la ville, sur l'axe de la route Biskra-Chetma. Il fait partie des ensembles d'habitat collectif à caractère social, réalisés entre 1984 et 1994, natives d'un système de planification nationale. Ces ensembles sont réalisés à partir d'un plan type déjà réalisé dans d'autres villes du pays (Batna, Annaba, Alger...) (Seghirou, 2002).

Le système de voirie est un système en boucle arborescent où chaque groupe de bâtiment est entouré d'une ceinture mécanique qui desserve d'un côté un parking commun.

Le système viaire représente 30.13% de la surface totale, est composé de : Boulevard, Voies de ceinture, Voies de desserte, Voies de cheminement et de desserte. Leurs largeurs dépendent de leur importance, mais en moyenne ils sont respectivement de : 23, 17, 8, 2m, où le prospect varie de 0.5 à 0.18. Ce type se présente sous forme de groupements d'un ensemble de blocs autour d'un espace destiné à être exploité comme parking ou espace de jeux. Ces blocs peuvent aussi créer un alignement de part et d'autre au long des boulevards et des allées. L'unité de composition urbaine est alors le bloc au lieu de l'îlot. La rue urbaine à l'échelle humaine est totalement absente.

Le cadre bâti est ponctuel, discontinu. Les bâtiments sont séparés les uns des autres par des distances importantes. Les enveloppes bâties se caractérisent par leur forme régulière, des façades monotones, planes, dépourvues d'éléments architecturaux tels que les encorbellements ou les saillies. L'organisation spatiale de l'habitation est extravertie, faite de part et d'autre d'un axe de composition, la hauteur va de 4 à 5 niveaux, et la plus faible compacité de ce quartier à comparer aux précédents. Ils sont construits par des panneaux préfabriqués en béton armé lourd (système Pascal).

Les espaces non construits (voirie, aire de jeux, parking, place) occupent une surface très importante 91.11%. Leur forme est le résultat de la disposition des barres. Ces espaces sont dépourvus de limites physiques bien déterminées. Ils se présentent sous forme d'espace bordé de barres de deux côtés ou de trois côtés. Les autres côtés sont ouverts aux voies de desserte mécanique interne, soit à d'autres espaces libres.

Malgré la densité résidentielle brute importante (65.55 logts/ha), le CES brut reste très faible (0.16), donnant lieu à de vastes espaces vides, non construits exposés aux aléas du climat.



Figure VI.15 : à gauche vue aérienne du quartier des 500 Lgts. Source: URL : [\[https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfce8b9bcabf42901\]](https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfce8b9bcabf42901). (Consulté le 23/02/2016 à 23h40), à droite situation du quartier. Source: PDAU 2013.

5.3.1.6. Quartier El Badr (HLM)

Ce quartier appartient au type d'habitat collectif et fait partie des grands ensembles, situé au nord du quartier *Chatonet* et les 90 logts collectifs, au sud du *Damier*, et délimité à l'est par l'avenue *Hakim Saâdan*. Réalisés dans le cadre d'une action d'urbanisation régionale nommée de plan de Constantine (programme national de logement collectif; à partir de l'année 1958). Il est composé de trois barres d'habitats collectifs et un petit bloc, deux d'entre eux sont égaux de dimensions et de surfaces (1050 m²), la troisième et plus petite (160m²), tandis que la quatrième et un petit bloc (de 53m²), formant le 1^{er} quartier de grands ensembles à Biskra. Le système de voirie est un système linéaire où chaque bloc est entouré d'une ceinture mécanique qui desserve des deux côtés une aire de stationnement commun, ces voies sont orientées vers l'Est/Ouest. Les hauteurs sont les mêmes pour les quatre blocs, et sont composés de Cinq niveau en plus d'un sous-sol destiné aux activités commerciales.

Les espaces non construits (voirie, aire de jeux, parking, place) occupent une surface très importante 85.60%. Leur forme est le résultat de la disposition des barres. Ces espaces sont dépourvus de limites physiques bien déterminés. Ils se présentent sous forme d'espace bordé de barres des deux côtés.

Le coefficient d'emprise au sol par rapport à la surface totale urbanisable est de 85.60% et la densité bâtie est faible, ne dépasse pas 15%, ce qui fait ce tissu est peu dense.

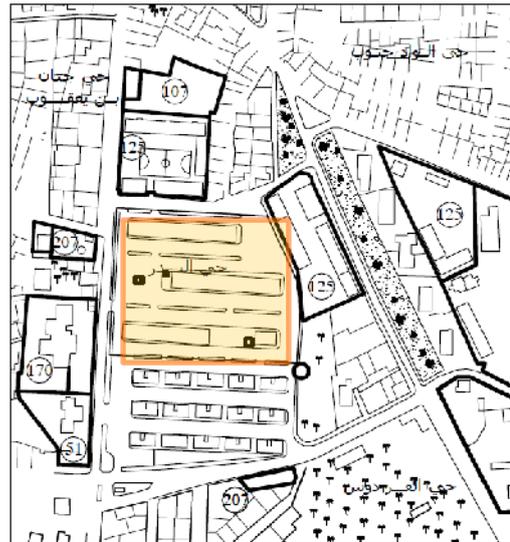


Figure VI.16 : à gauche vue aérienne du quartier EL Bard. Source: URL : [\[https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290\]](https://www.google.dz/maps/place/Biskra/@34.8476249,5.7333282,782m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x12f509d451b5c1d1:0xfcee8b9bcabf4290). (Consulté le 23/02/2016 à 22h30), à droite situation du quartier. Source PDAU 2013

CONCLUSION

Ce chapitre constitue une présentation du cas de notre étude et des tissus urbains qui composent la ville de Biskra ; dont on a tiré les prototypes représentatifs. La ville de Biskra par sa situation géographique s'inscrit dans le contexte aride et chaud. Elle présente un gisement solaire important, c'est pour cette raison qu'elle a été choisie comme cas d'étude dans la présente investigation. Elle est constituée d'un amalgame de différents tissus et des caractéristiques urbaines variées qui influe sur l'accès solaire et l'exploitation du gisement solaire.

Ce chapitre s'est basé sur des travaux antérieurs qui ont traité des sujets connexes. Dans cette partie on a classifié les quartiers de la ville selon plusieurs critères. Elle représente une diversité morphologique ; typologique et des taux de densité variée, très dense ; dense et lâche; au sein d'une même ville ; entre tissus traditionnels, tissus populaires et tissus contemporains.

À travers cette classification on a pu dégager les typologies urbaines les plus représentatives et par la suite les prototypes représentatifs du tissu de la ville, qui vont nous servir dans l'étape suivante celle du positionnement des configurations urbaines sur le diagramme des densités *SpaceMate*, afin de déceler les caractéristiques morphologiques de chacun d'entre eux et aussi identifier les différences entre eux, et c'est ce qu'on va opérer dans le chapitre suivant. Pour pouvoir passer à l'étape suivante celle de l'évaluation numérique au moyen de la simulation à l'aide du logiciel *Solene* qui a été présenté dans le chapitre précédant (V).

CHAPITRE VII

**ANALYSE ET
MODELISATION
MORPHOLOGIQUE**

INTRODUCTION

Ce chapitre est considéré comme l'étape avant dernière de ce travail. Il consiste à l'application numérique sur les configurations urbaines sélectionnées auparavant, d'un ensemble de tissus de configurations différentes et de taux de densité variée.

Les techniques d'analyse diffèrent, mais les objectifs de recherche coïncident : décrire et expliquer la forme bâtie. Plusieurs méthodes de recherche sur la forme et la morphologie urbaine ; différents sont leurs buts ; ont généré un ensemble utile de définitions depuis les années 1950, ainsi que d'un langage commun pour décrire la forme architecturale et urbaine. Ils ont aussi fourni des idées clés sur l'évaluation et l'étude détaillée de la morphologie urbaine ; mais tous ces travaux non pas traité la compréhension de la relation entre les propriétés quantitatives et spatiales des zones urbaines.

L'outil développé par *Berghäuser pont & Haupt* propose l'étude de cette relation soigneusement. Ils prétendent qu'à travers cet outil innovant l'analyse quantitative peut aider à élargir les possibilités et le pouvoir explicatif de la morphologie urbaine.

De ce fait on a proposé d'exploser ces possibilités pour l'étude de la configuration urbaine de notre cas d'application ; et avant de passer à la simulation numérique on va d'abord examiner les tissus urbains selon les indicateurs de densité prédéfini par le diagramme *SpaceMate*.

1. CLASSIFICATIONS DES DENSITES

Dans cette étape on va faire la comparaison des différentes configurations urbaines faisant appel aux paramètres de densité urbaine : la hauteur des constructions ; l'emprise au sol exprimée par le coefficient d'emprise au sol (CES); l'occupation au sol exprimée par le coefficient d'occupation au sol (COS).

En s'appuyant sur la méthode appliquée par *Philipp Rode et al(2014)*, l'occupation du sol est considérée comme un paramètre clé de densité urbaine ; dans les graphes ci-dessous ; le coefficient d'occupation de sol (COS) est choisi comme un paramètre de contrôle des autres paramètres de densité pour la comparaison des configurations urbaines.

Pour chaque variable une discussion sur les nuances des données globales, les exceptions et les raisons possibles de ceux-ci sont données. Toutes les configurations ont également été comparées en utilisant le diagramme des densités "SpaceMate" de *Berghäuser Pont, et Haupt (2004)*, qui illustre les relations clés entre quatre caractéristiques clés de la forme urbaine.

1.1.Détermination du niveau de densité

Avant de commencer la classification de configurations urbaines on doit d'abord déterminer le niveau de densité de chacune d'entre eux en quantifiant les valeurs de leurs paramètres.

A la lumière des données recueillies de l'analyse typo-morphologique élaborée par *Hamel. K (2005)* qui a classifié les différents tissus urbains de la ville de Biskra selon des critères urbains. Comme une 1^{ère} étape de notre travail on essaye de ré-exploiter les valeurs de densités initiale calculées et classées auparavant d'une autre manière afin d'examiner les résultats par leurs re-classification sur le diagramme *SpaceMate*, dans le but de faire une lecture morphologique du cadre bâti en la présence de sa troisième dimension, et du coup on peut comprendre la relation entre les propriétés quantitatives et spatiales des tissus urbains.

1.1.1. Calcul des paramètres de densité

En plus des résultats acquis de l'étude de *Hamel. K (2005)*; le calcul des paramètres de densités c'est déroulé comme suit :

- Mesurer les dimensions du lot, en mesurant sa longueur et sa largeur sur le fichier numérique DAO sous forme de documents *AUTO CAD*, pour obtenir la superficie de l'assiette investie pour l'étude, du bâti et non bâti.
- La mesure des hauteurs de chaque bâtiment s'est effectuée par des relevés sur terrain par un télémètre laser ; ainsi qu'une quantification de nombre d'étages de chaque bâtiment sur place.
- Des opérations de multiplication et d'addition sont effectuées faisant recours au calculateur d'*Excel* (2010) afin d'obtenir les valeurs des surfaces et des paramètres nécessaires pour l'étude.
- Pour les quartiers des logements collectifs ; la totalité de la surface de l'assiette a été investie pour l'étude tandis que pour les autres quartiers ont opté pour une zone représentative du quartier afin de pouvoir calculer les paramètres et maîtriser l'opération.

Les résultats finaux sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Prototype 1: M'Cid	Prototype 2: Star Melouk	Prototype 3: Le Damier Colonial	Prototype 4: Hay El Moudjahidine	Prototype 5: 500 logements	Prototype6: El Badr
Surface totale de la zone investie par l'étude (m ²)	22 249.63	113 010	131 590	79 592.82	103 133.56	16070
Surface totale bâtie (m ²)	15 274.35	72 146	66 900.35	33 605.25	9168	2313
Surface non bâtie (m ²)	6975.28	40 864	64 689.65	45 987.57	93 965.56	13757
CES	0.69	0.64	0.51	0.42	0.09	0.14
COS	1.37	1.27	1.01	0.85	0.44	0.72

Tableau VII.1 : Détermination des COS et du CES pour les différents échantillons étudiés. Source : adapté par l'auteur -avec rectification, d'après Hamel. K (2005) p: 142.

Le tableau ci-contre indique les surfaces des prototypes sélectionnés pour l'étude, les surfaces totales des zones investies pour l'étude (m²), surfaces totales bâties (m²), surfaces non bâties (m²), ainsi que les coefficients nécessaires pour l'application de l'étude, Coefficient d'emprise au sol (CES), Coefficient d'occupation du sol (COS), représentatif de chaque tissu sélectionné ; et qui vont nous servir à la 1^{ère} étape de l'application celle de la classification des tissus urbains sélectionnés.

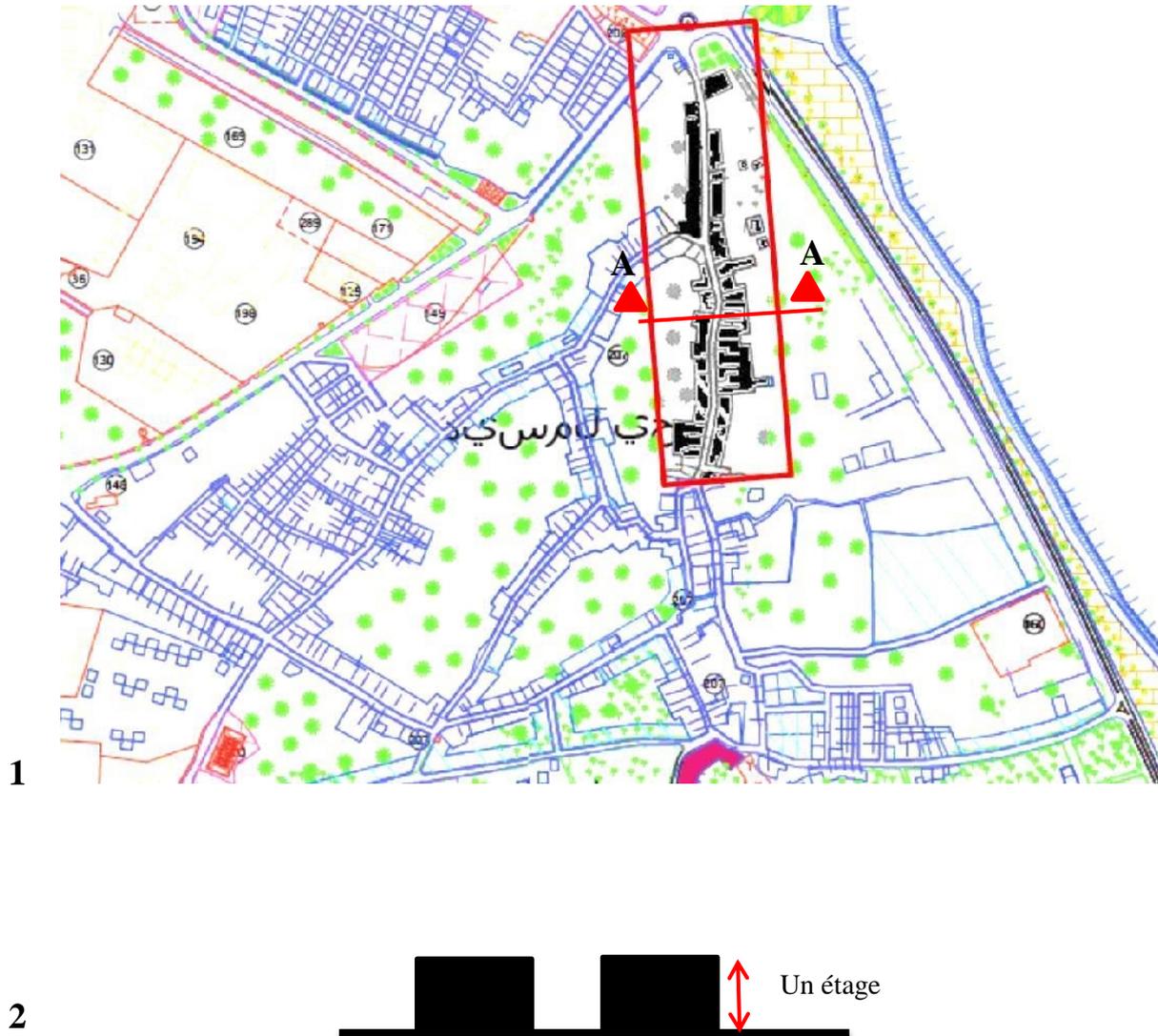


Figure VII.1 : Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine très dense ; quartier M'cid. **1** : vue en plan. **2** : profil de la configuration. Source : Auteur.

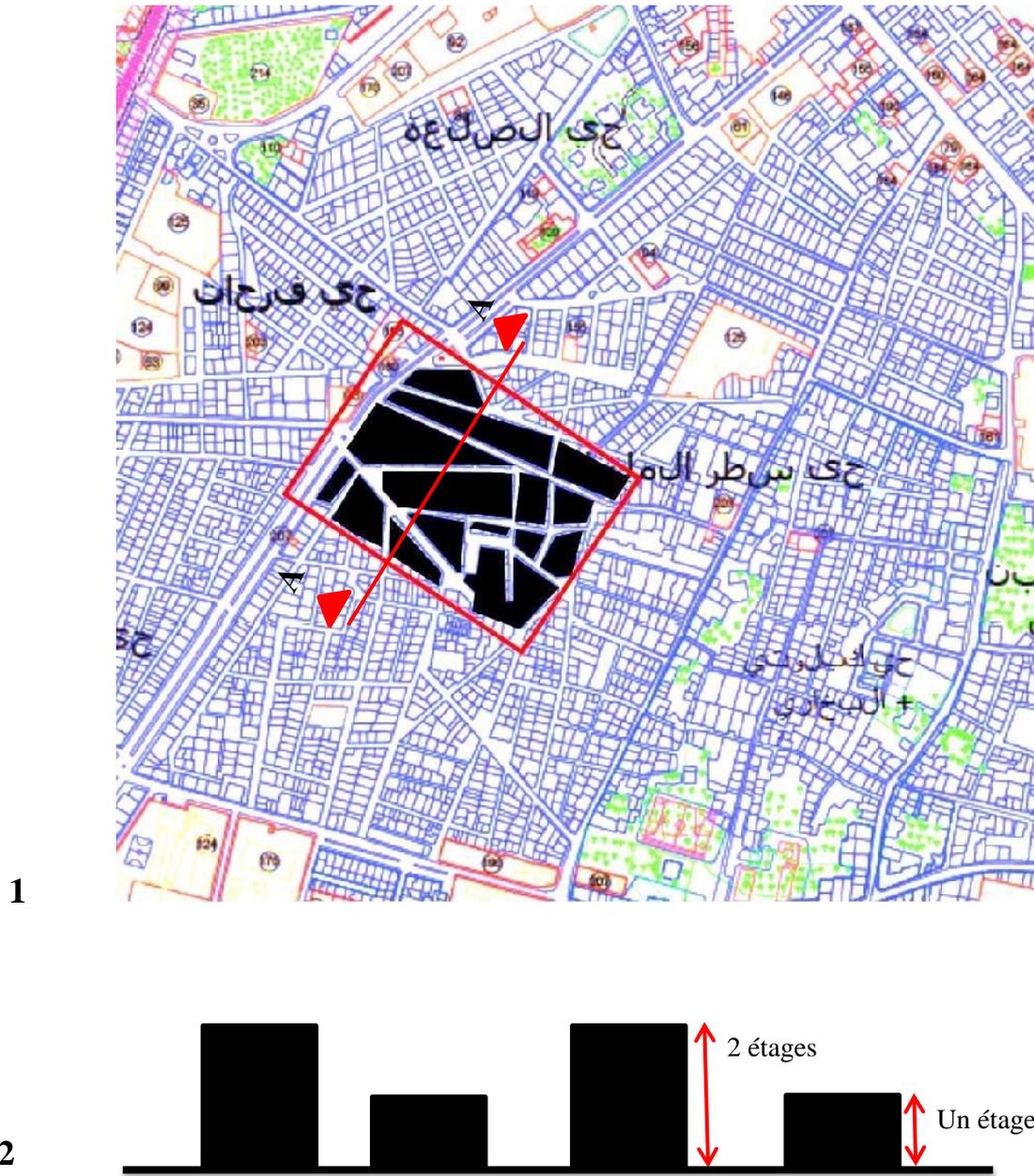


Figure VII.2: Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine très dense ; quartier star M'louk. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. Source : Auteur.

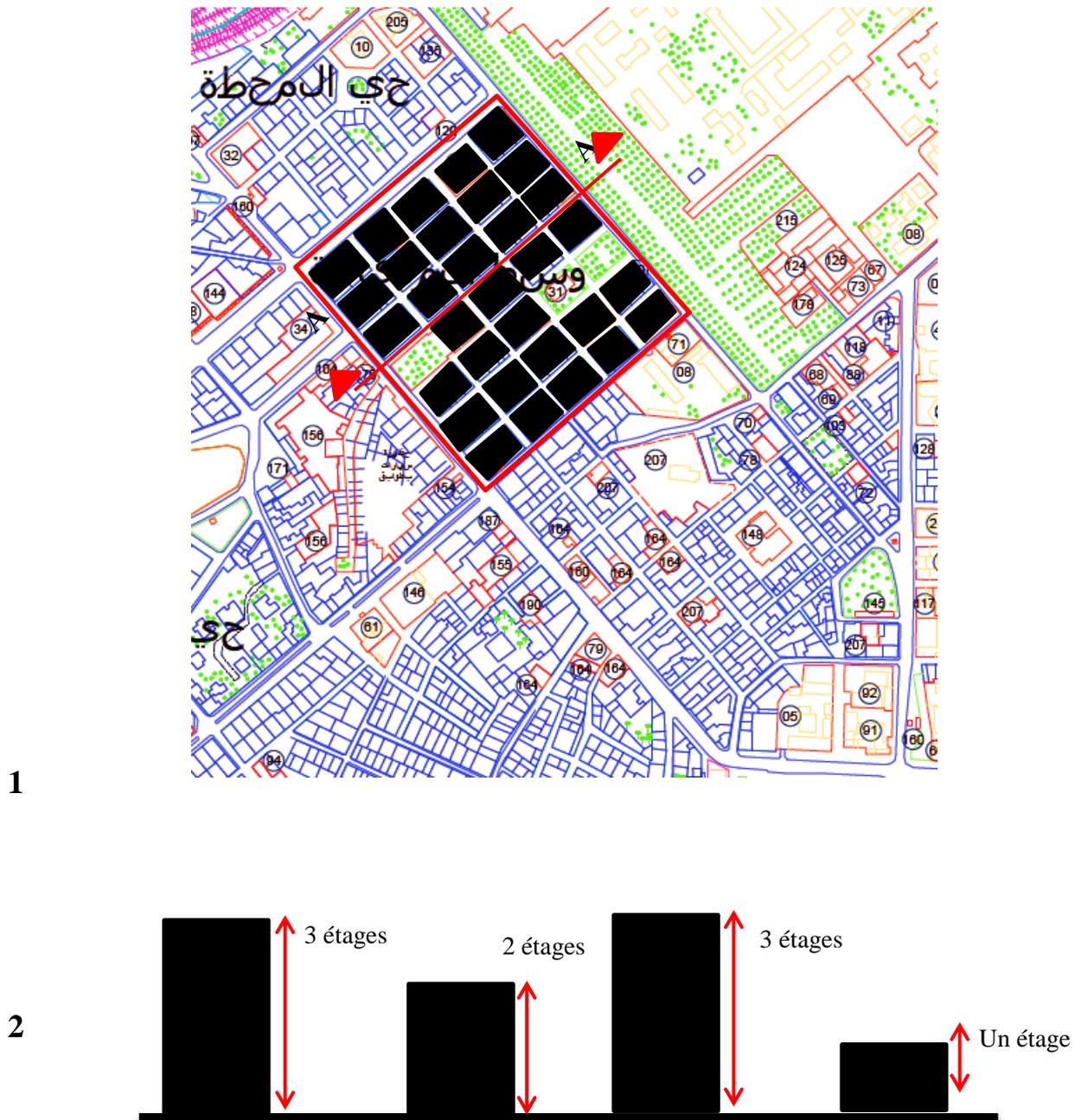


Figure VII.3: Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine dense ; quartier du damier coloniale. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. Source : Auteur.

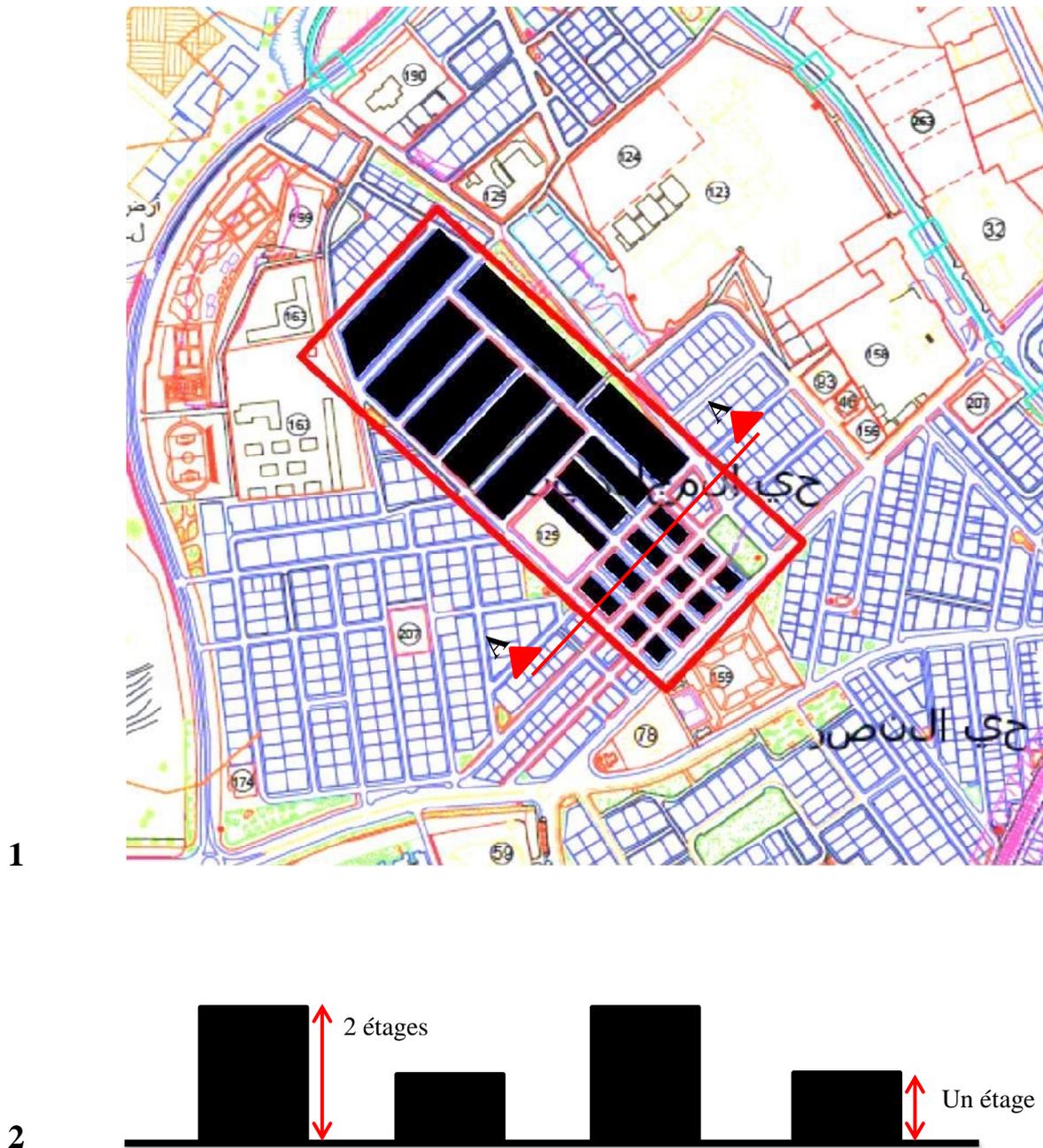


Figure VII.4 : Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine dense ; quartier Hay el Moudjahidine. 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. Source : Auteur.

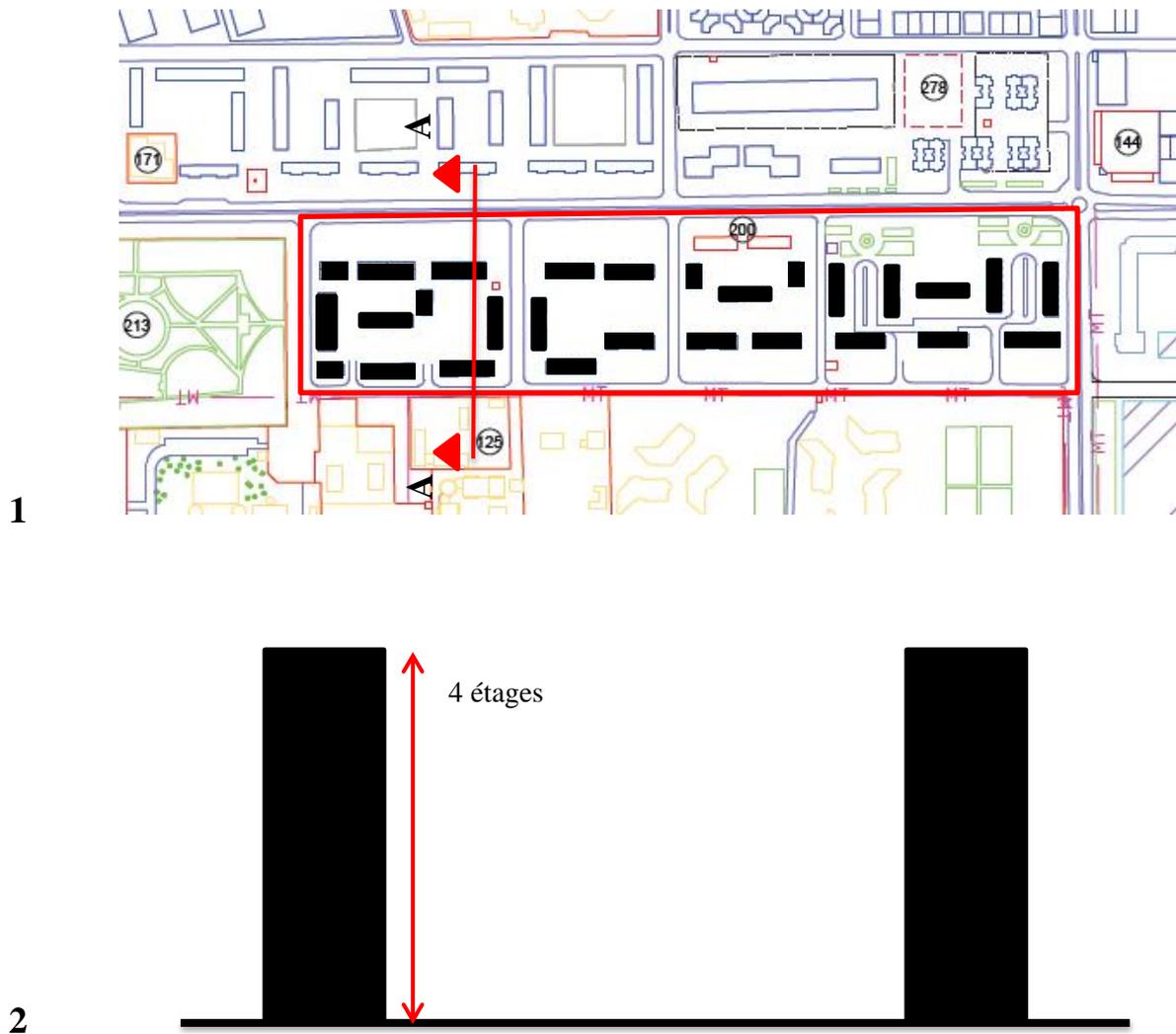


Figure VII.5 : Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine lâche; quartier 500 Logts collectifs ; 1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. Source : Auteur.

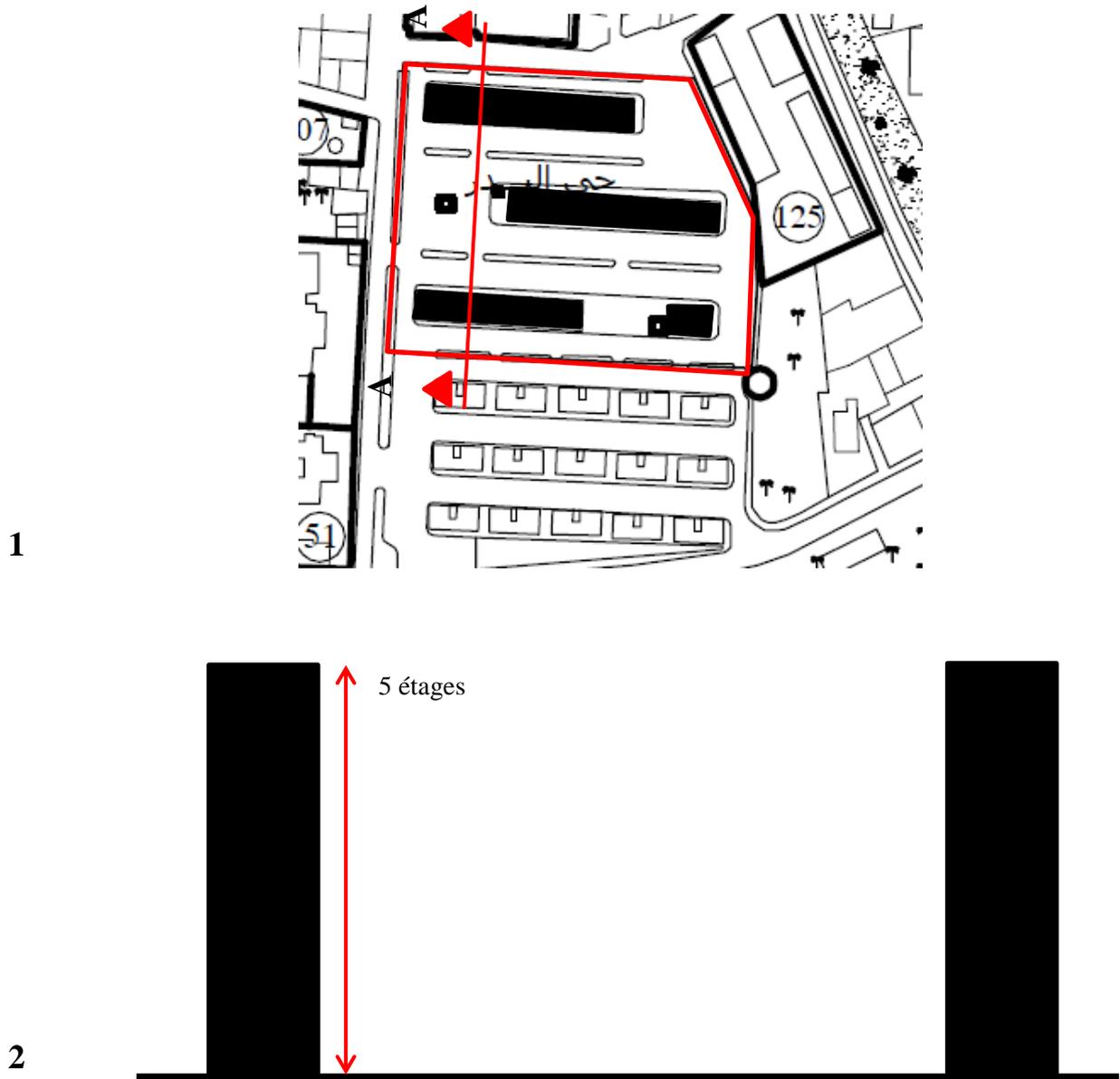


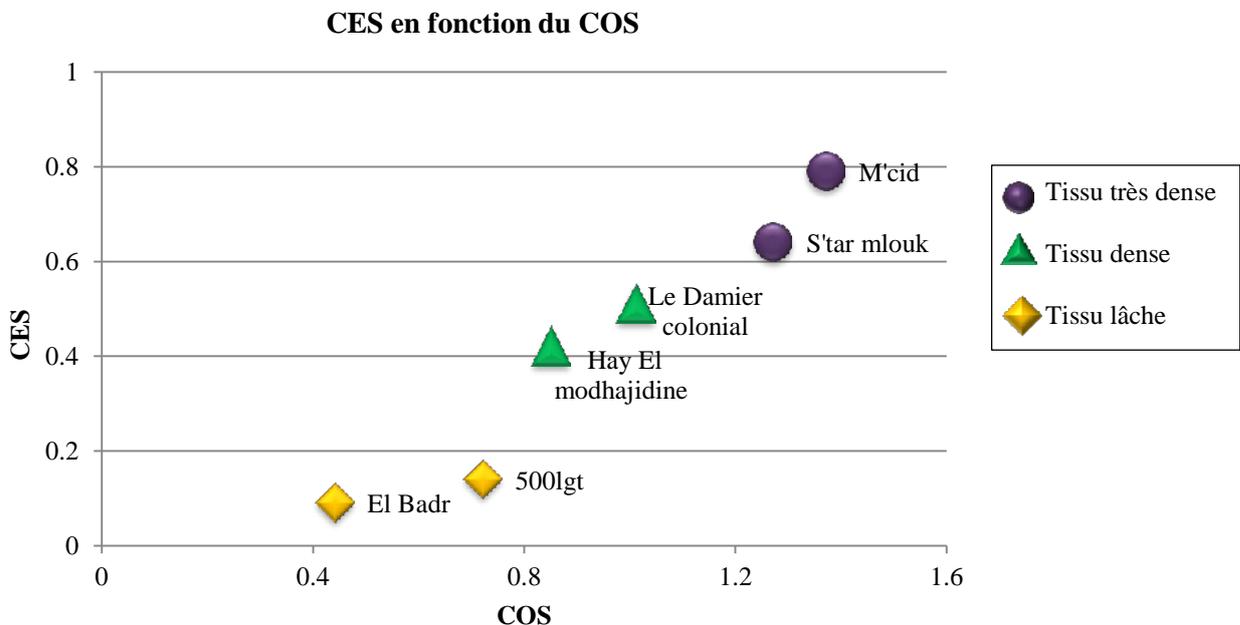
Figure VII.6: Détermination du périmètre d'étude de la configuration urbaine lâche ; quartier HLM ;
1 : vue en plan. 2 : profil de la configuration. Source : Auteur.

1.2. Les typologies des bâtiments et la densité

Cette section décrit la densité contre les configurations des tissus urbains pour chacun des six quartiers de cas d'étude. Le logement individuel a toujours la forte densité comprise d'un COS plus de 1 ; entre 1,37 et 1,01, bien que le logement collectif occupe la plus basse densité d'un COS moins de 1 ; entre 0,72 et 0,44 ; occupant le taux le plus bas de cette fourchette. Le quartier de M'Cid exprime la densité la plus élevée d'un COS de 1,37 avec son tissu urbain compact, ce qui est beaucoup plus élevé à comparer au quartier de logement collectif, qui a une densité qui n'atteint pas un COS de 0,5 par son tissu de typologie moderne lâche; toutefois le quartier du Damier colonial présente une densité moyenne d'un COS proche du 1 quoique son tissu est d'une typologie de logement individuel mais peu compact.

1.3. Le CES en fonction du COS

Ce graphe nous montre la relation entre la couverture de surface et la densité de construction. La couverture de surface est définie comme la surface totale construite emprise par le bâti, divisée par la surface totale de l'assiette du prototype, autrement dit le coefficient d'emprise au sol (CES) en fonction du coefficient d'occupation du sol (COS).



Graphe VII.1 : Représentation du CES en fonction du COS des différentes configurations urbaines du cas d'études par Excel 2010. Source: Auteur .

Une corrélation positive entre l'emprise au sol (CES) et l'occupation du sol (COS) est observée pour tous les prototypes. Les six prototypes diffèrent notamment au niveau des typologies de constructions, le tissu de M'Cid et celui de S'tar M'louk expriment les plus fortes densités bâties avec un COS qui dépasse le 1.25, couplés avec une emprise au sol au-dessus de 0,70. Ils sont suivis par le tissu du Damier colonial avec une densité bâtie près de 1 ; pour une valeur de COS de 1.01 et un ratio d'emprise au sol de 0,51, ce qui indique que le bâti occupe la moitié de la superficie totale de l'assiette du quartier. La relation de COS-CES suit la même tendance pour tous les quartiers. Néanmoins les deux tissus des configurations lâches El Badr (HLM) et les 500 Logts collectifs ; semblent couvrant le moins de surface possible ; à l'encontre construisaient vers le haut.

Les six exemples montrent une relation très étroite entre les deux variables. Les prototypes de la même typologie pour les différentes configurations semblent bien agrégés, montrant une occupation et une emprise au sol considérablement similaires.

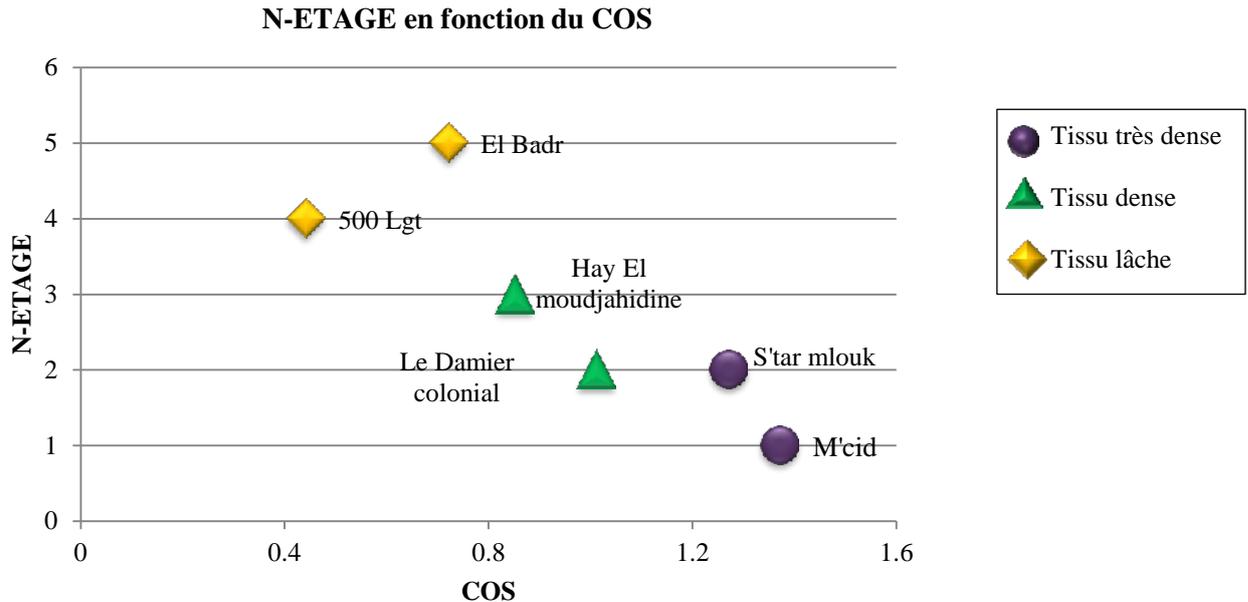
Bien évidemment, les blocs compacts urbains sont les structures de construction les plus denses dans toutes les villes. De même, les logements collectifs caractérisés par de faibles densités dans le monde et ce qui est bien clair dans notre cas, ceci a été aussi confirmé par l'étude comparatif des grandes métropoles européennes élaborées par *Philipp Rode et al(2014)*.

Le quartier du M'Cid se penche vers le ratio d'emprise au sol le plus élevé contrairement au quartier des 500 Logt collectifs vers le ratio le plus bas.

1.4.Le nombre d'étage en fonction du COS

Le graphe ci-contre nous montre la relation entre la hauteur des bâtiments et la densité des tissus urbains.

Au premier constat, une corrélation négative peut être vue entre la hauteur des constructions et de la densité bâtie. Pour tous les quartiers, avec l'augmentation de la hauteur une baisse de la densité urbaine ; c'est-à-dire plus le COS est élevé moins est la hauteur des habitations, à l'exception du quartier des 500 logts collectifs et les barres du quartier EL Badr (HLM) où ce dernier est d'une hauteur plus importante que celle des 500logts ; néanmoins ce quartier présente un COS plus élevé que son précédant.



Graphe VII.2 : Représentation du COS en fonction du COS des différentes configurations urbaines du cas d'études par Excel 2010. Source: Auteur.

À ce stade, les différentes configurations des tissus urbains apparaissent suivre un chemin de hauteur importante avec une densité réduite exprimée par le COS, décrit comme ancien chemin par *Philipp Rode et al(2014)*, décrivant cette allusion comme une exclusivité mutuelle dans les choix de conception, si l'on veut augmenter la densité, on peut soit construire en hauteur ou à augmenter l'emprise au sol. Tandis qu'ils trouvent que le contraire de cette stratégie est rarement tenté à l'unisson.

Une limitation absolue des hauteurs des bâtiments ou, en fonction de l'espace laissé entre eux. Si la hauteur et l'emprise au sol sont augmentées ensemble, cela engendre une occultation excessive des étages inférieurs en matière d'éclairage et de l'accès solaire. Ces effets ont été étudiés par *Martin (1972)* et *March (1969)* dans leur travail sur l'utilisation des terres et des formes construites.

Le quartier d'EL Badr montre de loin la plus haute forme bâtie à comparer aux autres quartiers, plus de 5 étages (avec un sous-sol) une réflexion de la forte hauteur, construit dans le cadre de la politique de planification des grands ensembles de la période d'après l'indépendance due à la forte demande de logements dans les villes (plan de Constantine). Star M'louk et le Damier colonial montrent des profils de hauteur très similaires, à l'exception que Star M'louk atteint les mêmes sommets que le Damier colonial à un COS plus élevé.

Contrairement au tissu de M’Cid, qui démontre la plus basse configuration de tous les quartiers, qui ne dépasse pas les 2 étages et avec une moyenne d’un seul étage à l’exception de quelques maisons; à comparer avec tous les prototypes choisis ; la particularité de hauteur qui a été constatée dans le tissu de Hay El Moudjahidine est tellement claire sur le graphe ; malgré le taux d’occupation du sol similaire avec celui du Damier colonial.

On peut dire que dans l’ensemble, on peut voir que l’emprise au sol et la hauteur des constructions sont en corrélation négative avec la densité urbaine exprimée par le COS.

Dans les deux graphes les différentes configurations urbaines sont généralement regroupées selon leurs propres typologies morphologiques, bien que l’exception existe.

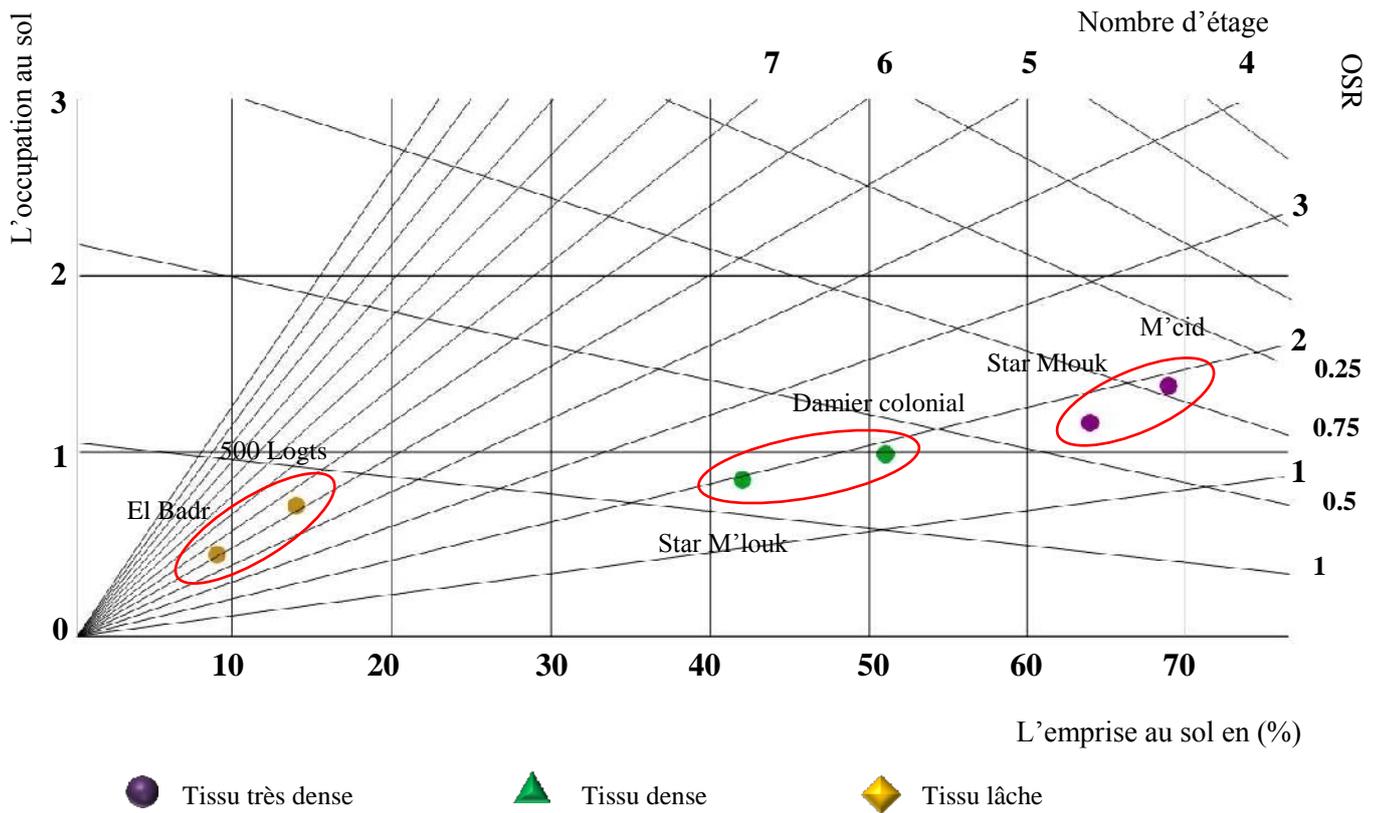
1.5. Classifications des tissus urbains dans le diagramme de SpaceMate

Le graphe présenté ici compare les différentes morphologies par des paramètres des formes de bâties ; de densité urbaine, le ratio d’emprise au sol, la hauteur moyenne des constructions.

Une visualisation complète des variables spatiales clés utilisés dans le présent rapport est facilitée par le graphe des densités “*SpaceMate*” développé par *Berghäuser Pont et Haupt (2004)*.

Outre les trois paramètres déjà introduits - COS, CES et la hauteur des bâtiments - le diagramme utilise le ratio de l’espace ouvert (OSR), qui est le rapport entre la zone non-bâtie et la surface de plancher brute d’un site donné. Tous les prototypes vont être également comparés en utilisant le diagramme des densités “*SpaceMate*” afin d’illustrer les relations clés entre ces quatre paramètres clés de la forme urbaine.

Le graphe (VII.3) positionne clairement sur ces deux extrémités les deux typologies de maisons individuelles de configurations urbaines très dense et de logements collectifs de configurations urbaines lâches (airer); tandis que la configuration peu dense se place au milieu.



Graphe : VII.3 Le positionnement des différents quartiers dans le diagramme SpaceMate.
Source : auteur.

Le premier ensemble - configurations urbaines très dense -est caractérisé dans les deux cas par des niveaux de densité élevée supérieure à un COS de 1, d'une emprise au sol proche de 70 pour cent, une hauteur moyenne de bâtiment autour de deux étages et un indice de l'espace ouvert au-dessus 0.25. Le dernier ensemble-configurations urbaines lâches- est autour du niveau de densité le plus bas d'un COS moins de 0.7, et d'une emprise au sol qui varie entre 9 et 14 pour cent et de hauteurs généralement entre 4 et 6 étages et un taux d'espace ouvert qui dépasse le 1; tandis que le troisième ensemble, qui ne comprend que des configurations à densité moyenne, atteint le niveau de densité significativement intermédiaire de cet ensemble, par un COS très proche du 1, principalement dû à des tissus auto-construits planifiés et règlementés et d'une emprise au sol qui ne dépasse pas le 50 pour cent indique que ; ce n'est que la moitié de l'assiette qui est investie pour le bâti ; et qui dispose des hauteurs moyennes entre 2 et 3 étages ainsi un taux d'espace ouvert situé entre le 1 et 0.5.

Donc on peut dire que l'ensemble des configurations morphologiques formant sur le diagramme des densités, trois (3) grandes catégories ; chacune d'elle évoque un niveau de densité ; cela confirme la classification élaborée par *Hamel. K (2005)* ; c'est-à-dire :

- Quartier M'cid et quartier Star M'louk font partie de la même catégorie : configuration urbaine *très dense*.
- Quartier Hay El Moudjahidine et le quartier du Damier coloniale font partie de la même catégorie : configuration urbaine *dense*.
- Quartiers des logements collectifs les 500 logts et El Badr font partie de la même catégorie : configuration urbaine *lâche*.

Ce graphe nous a permis de retenir que :

- **Une corrélation négative** décrite entre le COS et la hauteur des constructions : plus la densité urbaine exprimée par le COS est important plus la hauteur des constructions est réduite.

- **Une corrélation négative** décrite entre le COS le ratio de l'ouverture de l'espace : plus la densité urbaine exprimée par le COS est important plus le ratio de l'ouverture de l'espace exprimé par l'OSR est réduit aussi.

- **Une corrélation positive** décrite entre la hauteur des constructions et le ratio de l'ouverture de l'espace : plus la hauteur des constructions est importante plus le ratio de l'ouverture de l'espace exprimé par l'OSR est réduit aussi.

Le regroupement des différentes zones résidentielles dans le graphe *SpaceMate*, de manière qu'il est évident que la représentation et le positionnement des grappes sont formées de similitudes en termes de structure spatiale. Ainsi, toutes les zones de grande hauteur sont rassemblées dans une zone dans le graphe. C'est également pour les zones de blocs compacts, dans la zone de faible hauteur.

L'interaction entre les variables semble être plus importante que leurs valeurs absolues; la zone de grande hauteur à FSI ; autrement dit un COS moins important que la zone avec des blocs de constructions compacts. La zone de grande hauteur est en fait construite d'une manière beaucoup moins compacte et a donc un GSI ou une emprise au sol inférieure.

Dans *SpaceMate*, la position occupée par les quartiers de grande hauteur est différente de celle occupée par les quartiers compacts.

Cela nous a permis de discuter de la relation entre les aspects quantitatifs de la densité et les caractéristiques de l'espace urbain ; on a pu analyser l'espace à la fois qualitativement et quantitativement, montré par la possibilité offerte par le graphe *SpaceMate* qui sépare les bâtiments composant les quartiers en types morphologiques distincts.

Il est clair que chaque catégorie est bien située dans le graphe, à partir duquel en établissant la description de l'environnement bâti grâce à la combinaison des quatre variables (COS), (CES), (OSR) et (L), aussi la comparaison détaillée des configurations urbaines, on se focalisant sur la disponibilité d'espace (la surface de la zone); les types des bâtiments et le nombre d'étages ainsi que la pression du bâti sur l'espace ouvert extérieur, donnant à chaque configuration une empreinte unique en milieu urbain; on a pu donc différencier entre les tissus urbains et de comprendre leurs caractéristiques, à travers la combinaison de ces quatre variables; qui sont étroitement liées les unes aux autres, définissons la densité de chaque tissu comme un phénomène multi-variable.

Grâce au diagramme il est clair qu'on peut capturer des caractéristiques importantes des quartiers et des types urbains d'une manière qu'aucune des mesures de la densité urbaine utilisée isolément ne peut le faire seul.

L'analyse quantitative nous a aidé à élargir les possibilités et le pouvoir explicatif de la morphologie de différentes configurations urbaines de notre cas d'étude. Cela signifie que la morphologie en tant que telle a pu contribuer à la compréhension de la relation entre les propriétés quantitatives et spatiales des zones urbaines. (*Meta Berghäuser Pont & Per Haupt; 2005*).

Basé sur la connaissance de la relation entre la densité physique et la forme urbaine l'outil *SpaceMate* constitue une véritable nouvelle méthode, ce qui rend la relation entre la forme, l'espace et de la densité explicite.

Cet outil nous a permis de bien comprendre la relation entre les typologies des constructions et la densité urbaine, autrement dit; *comprendre la logique spatiale de la densité urbaine* de notre cas d'étude.

En plus des différentes typologies d'aménagement de l'espace urbain, des aspects tels que l'urbanisation, typologie de l'espace ouvert, et la mixité fonctionnelle peuvent aussi être liées à des positions et des grappes dans *SpaceMate*. Le graphe peut être utilisé de différentes manières.

2. LA CONSTRUCTION DU MODEL 3D SIMPLIFIE

Cette section présente les modèles idéalisés construits à simuler. Ce modèle présente des configurations urbaines représentatives de chacune des catégories de densité étudiée auparavant (très dense, dense et lâche); cela à partir des résultats obtenus de la phase précédente (l'analyse morphologique des typologies urbaines des prototypes prédéfini). On a essayé de tirer les caractéristiques des prototypes étudiés afin de pouvoir reconstruire ces modèles 3D. Ils expriment les aspects clés de morphologie des tissus réels, sans caractéristiques atypiques ou inutiles. L'attractivité de ces formes génériques réside dans leurs simplicités, éliminant ainsi les complexités trouvées dans les tissus urbains réels. C'est une purification des caractéristiques morphologiques des formes urbaines réelles; une reconstitution artificielle des caractéristiques du tissu réel examiné.

A partir de l'analyse typologique élaborée précédemment et des prototypes retenus des informations extraites sur le terrain, de la littérature et des documents administratifs (POS), on a dégagé leurs différentes caractéristiques, pour la construction simplifiée et de représenter ces modèles 3D numériques, à l'aide du logiciel *Google SketchUp*8.

Ils devaient ressembler aux vrais prototypes, chaque modèle numérique 3D représente les informations de base sur l'empreinte, type de bâtiment (taille, le volume, proportion) les dimensions du bâti et non bâti, des voiries, et les hauteurs ainsi que le nombre d'étages de tous les bâtiments, ainsi que les formes des parcelles et leurs proportions, la densité bâtie (COS); et l'emprise au sol (CES), tandis que les orientations de chaque tissu seront maintenues.

La méthodologie pour construire les échantillons idéalisés a été basée sur des moyennes des principaux paramètres. L'accent mis sur la précision dans la configuration spatiale volumétrique a été inclus car il est le facteur le plus important dans la présente simulation solaire.

Pourtant, l'idéalisation des échantillons conduit à une perte d'informations sur les typologies et les décontextualise de leur environnement - mais avec l'objectif spécifique de la recherche à l'impact de leurs formes et volumes, elle permet aussi la comparaison précise et significative entre eux.

Pour les matériaux de constructions de ces modèles 3D à simuler on va opter pour une unification de ces derniers.

2.1. Les caractéristiques des variantes de la simulation

Afin d'obtenir des modèles représentatifs des prototypes on a essayé de préserver les caractéristiques de ces derniers essentiellement leurs niveaux de densités qui est le paramètre clé de notre étude ; ces caractéristiques sont représentés dans le tableau suivant ainsi que les figures ci-dessous :

Variantes	COS	CES	S-Enveloppe	N-Niveau	S-Assiette	N-Blocs
Très dense	1.27	0.85	1260 m ²	2/1	1400 m ²	4
Dense	0.9	0.46	3300 m ²	1/2/3	2080m ²	4
Lâche	0.6	0.11	7360 m ²	6	14000 m ²	4

Tableau VII.2 : Caractéristiques des configurations urbaines idéalisées. Source: Auteur.

2.1.1. La configuration très dense :

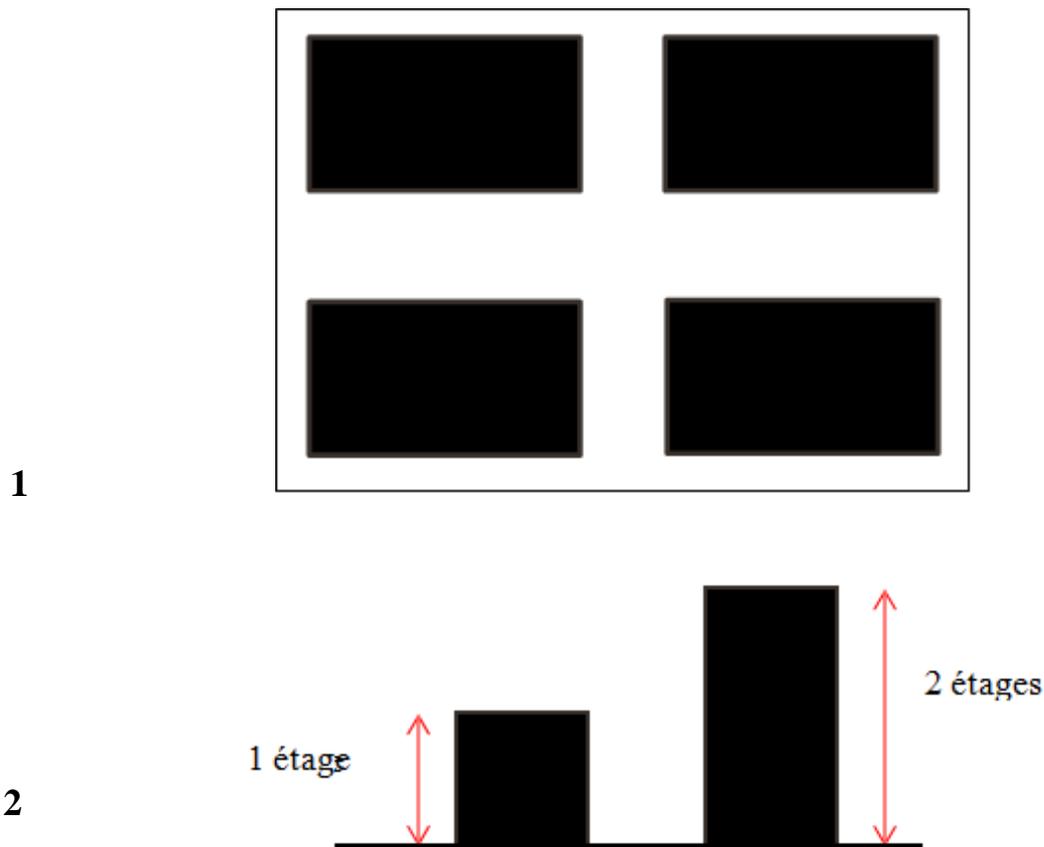


Figure VII.7 : Le modèle représentatif des configurations urbaines très dense : 1 une vue en plan ; 2 une vue de profil. Source: Auteur.

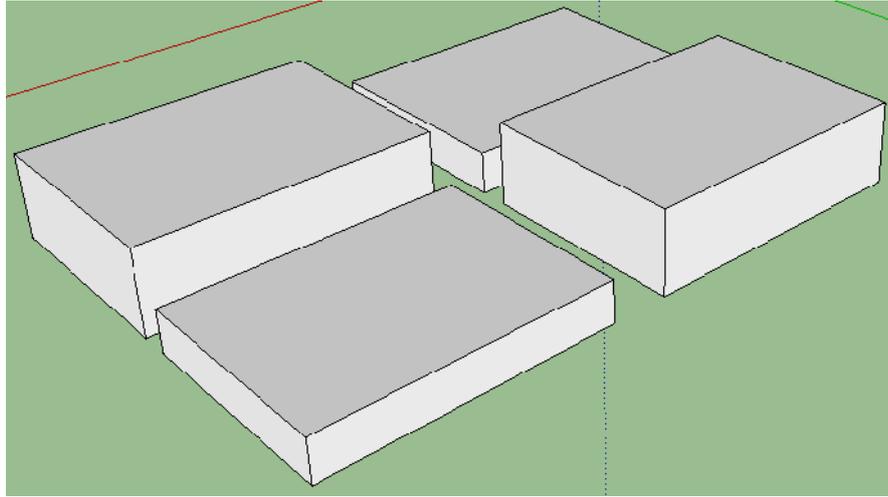
**3**

Figure VII.8: Le modèle représentatif des configurations urbaines très dense: **3** : une vue 3D modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8. Source: Auteur.

2.1.2. La configuration très dense :

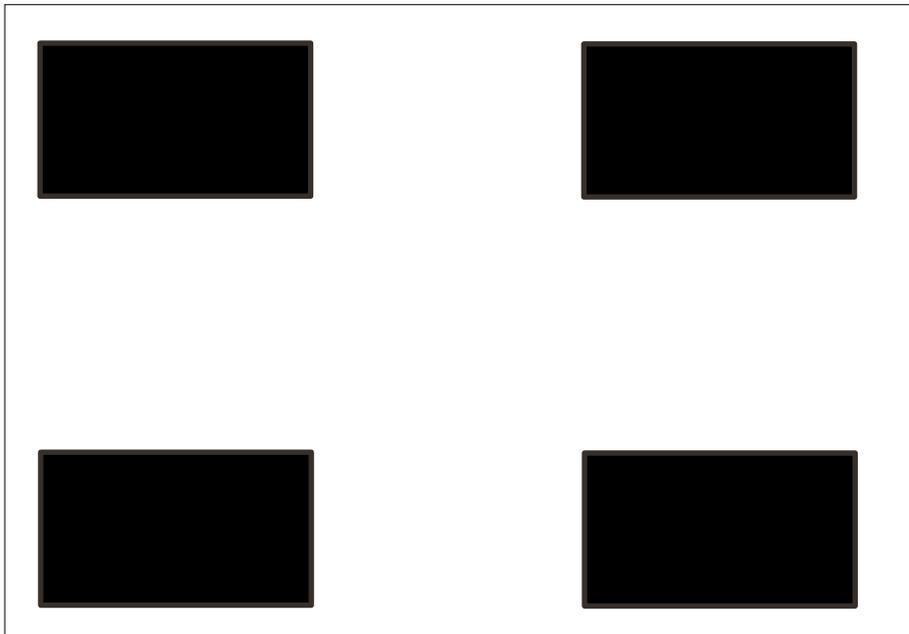
**1**

Figure VII.9 : Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense: **1** une vue en plan. Source: Auteur.



Figure VII.10: Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense: 2 une vue de profil. Source: Auteur.

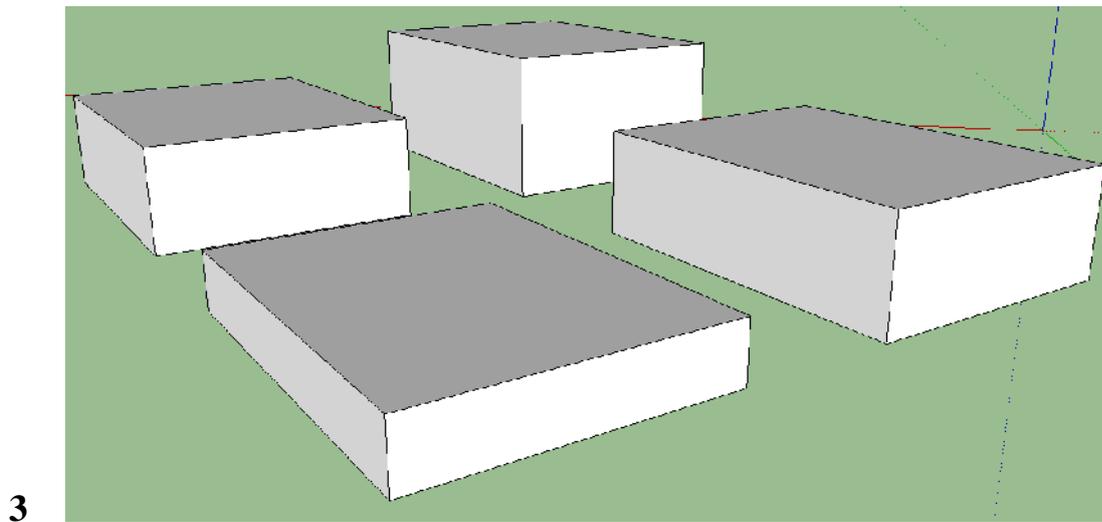


Figure VII.11: Le modèle représentatif des configurations urbaines Dense. 3 : une vue 3D modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8. Source: Auteur Mars 2016.

2.1.3. La configuration lâche :

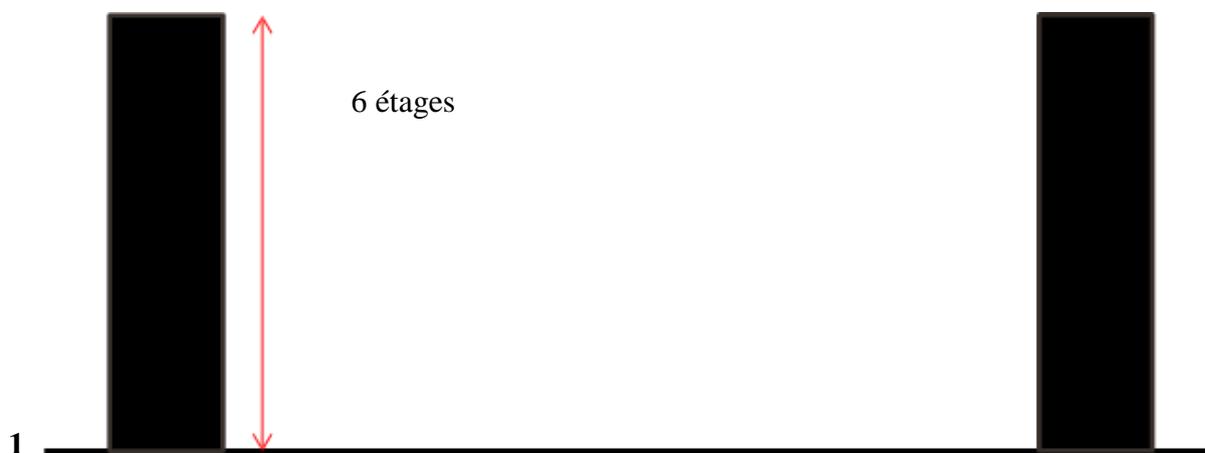


Figure VII.12: le modèle représentatif des configurations urbaines lâche : 1 une vue de profil. Source: Auteur.

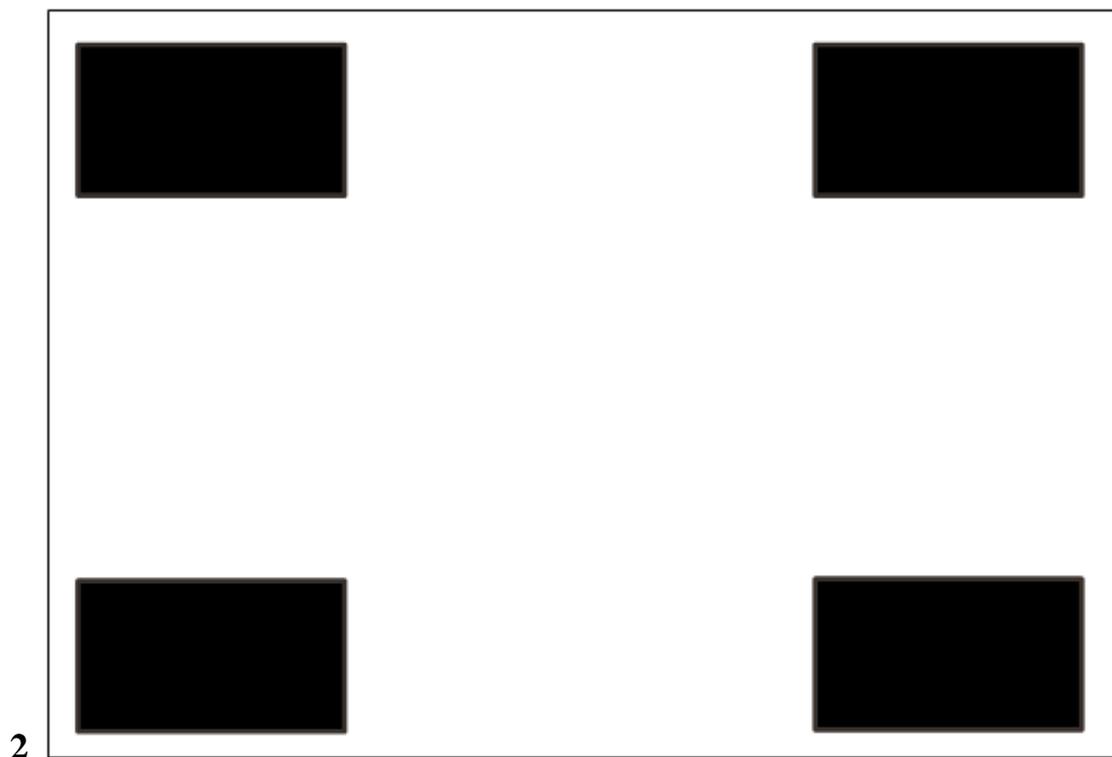


Figure VII.13: Le modèle représentatif des configurations urbaines lâche. **2**: une vue en plan. Source: Auteur

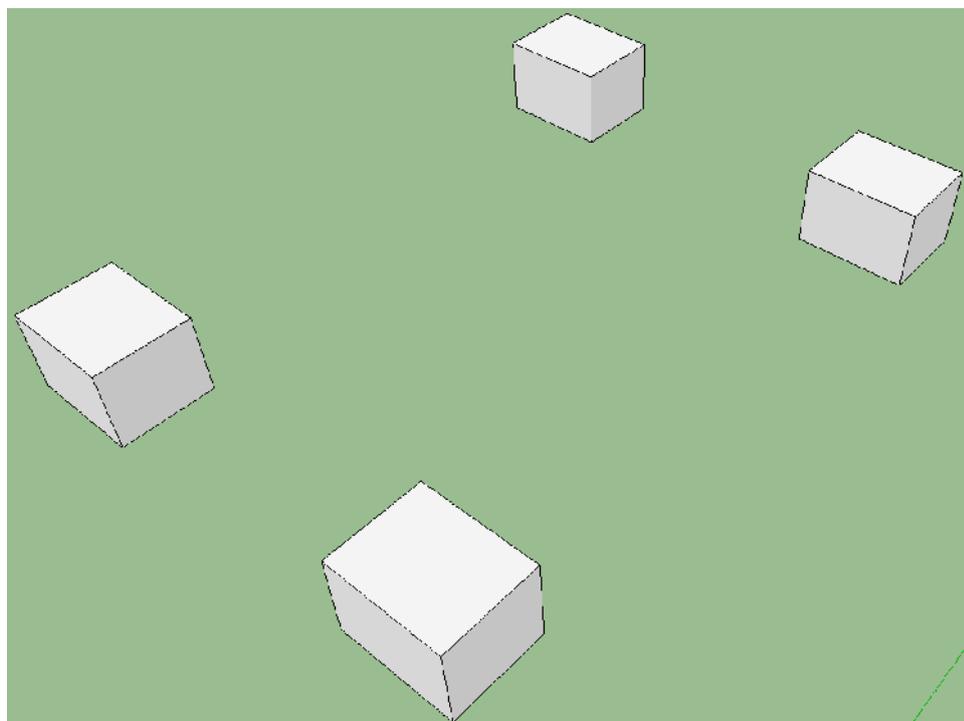
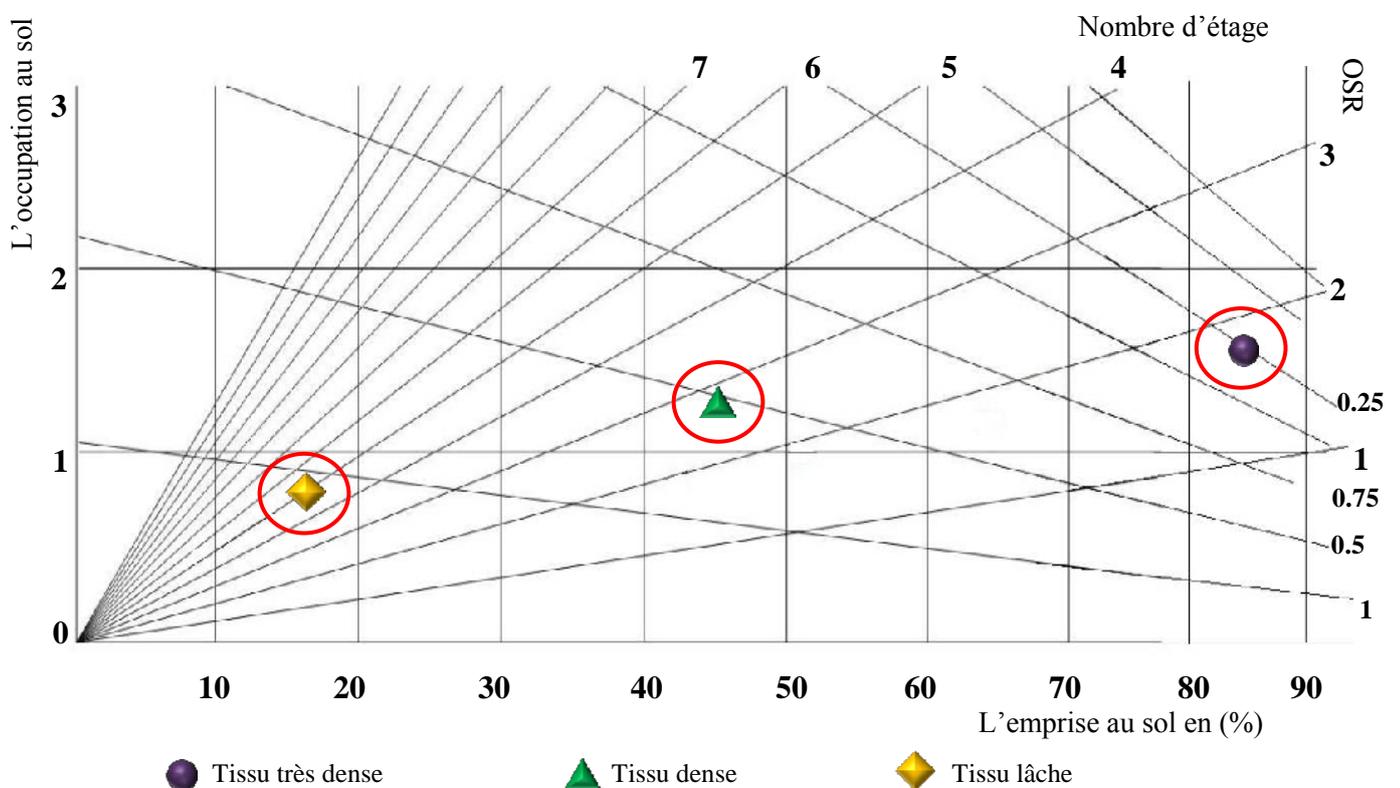


Figure VII.14: Le modèle représentatif des configurations urbaines a modélisé à l'aide du logiciel Google SketchUp8; **3**: Lâche. Source: Auteur.

3. LA CLASSIFICATION DES MODELES 3D IDEALISES SUR LE DIAGRAMME DES DENSITES

Le diagramme des densités ci-contre positionne clairement les modèles 3D construits, dont dans les deux extrémités du graphe se trouve les typologies de modèles très denses qui représentent les configurations urbaines compactes de logements individuels et de modèles lâches qui représentent les configurations urbaines de logements collectifs ; tandis que le modèles se placent au milieu, entre les deux autres denses et qui représente les configurations urbaines de logements individuels peu denses.



Graphe VII.4 : Le positionnement des différents modèles sur le diagramme SpaceMate. Source : auteur.

CONCLUSION

Ce chapitre s'est consacré à l'étude et l'analyse morphologique des configurations urbaines représentatives du tissu de la ville de Biskra. L'outil *SpaceMate* a été exploré afin de dégager les caractéristiques urbaines de ces dernières ainsi de déduire les différences entre elles, pour construire les modèles urbains idéalisés afin d'en examiner le gisement solaire.

Cet outil nous a aidés à déterminer les caractéristiques des configurations urbaines, où la première phase s'est déroulée sur les six configurations urbaines représentatives du cas d'étude choisis auparavant de l'ensemble des configurations urbaines composant le tissu de la ville ; cas de notre étude ; dont on a tiré les traits majeurs des prototypes sélectionnés, après avoir été positionnés sur le diagramme *SpaceMate*, analyser les configurations urbaines choisies, dégager les variations morphologiques entre elles et les catégoriser. Ce qui a engendré trois catégories de densités urbaines distinctes entre très dense, dense et lâche, avec les différences morphologiques pour chacune des catégories. Ceci nous a aidés à construire les modèles 3D idéalisés simplifiés et qui ont été, eux aussi, positionnés sur le diagramme des densités permettant de confirmer les différences morphologiques de ces modèles urbains qui vont servir à l'étape suivante.

L'évaluation du gisement solaire qui sera l'étape finale de cette investigation, dans laquelle on va s'appuyer sur les différences morphologiques de ces modèles urbains 3D idéalisés décelés de leur positionnement sur le diagramme des densités *SpaceMate* effectué dans le présent chapitre.

CHAPITRE VIII

EVALUATION DU GISEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION

Ce chapitre est considéré comme l'étape finale de ce travail. Il consiste à l'application numérique sur les modèles 3D virtuels idéalisés construits à partir des caractéristiques des configurations urbaines représentatives sélectionnées d'un ensemble de tissus urbains de différentes configurations et de taux de densité variée.

Cette phase se focalise sur l'estimation du gisement solaire à travers la comparaison des quantités d'énergie solaire reçue sur l'enveloppe bâtie des prototypes de configurations urbaines idéalisées et simplifiées prédéfinies selon leur degré de densité.

L'évaluation s'effectue par la simulation numérique à l'aide du logiciel thermo-radiatif *SOLENE* sur la géométrie des prototypes idéalisés afin de mieux les examiner, les résultats obtenus vont nous servir à déterminer le pourcentage de viabilité de chaque surface de ces deniers.

1. LA SIMULATION NUMERIQUE

La simulation numérique est la phase finale de notre investigation ; dans laquelle on va faire l'estimation du gisement solaire de la ville Biskra sur les modèles 3D virtuels simplifié.

Dans cette étape ; sur la base de l'analyse morphologique finale des prototypes urbains ; on a pu construire les modèles 3D représentatifs des configurations urbaines étudiées ; pour chacune des configurations des trois catégories de densité urbaine (très dense, dense et lâche).

La procédure de cette dernière nécessite l'attribution de certaine donnée au logiciel afin de garantir le bon déroulement de l'opération. Les données climatiques et géographiques du lieu, et les caractéristiques des matériaux de construction, pour pouvoir à la fin simuler les modèles 3D représentatifs simplifiés.

1.1. Les données climatiques nécessaires pour la simulation

Assurer l'accès solaire à l'échelle urbaine est une procédure permettant de garantir une économie d'énergie. Les facteurs climatiques ont une grande influence sur les consommations d'énergie des bâtiments. Afin d'évaluer et caractériser le gisement solaire incident au sein du tissu urbain durant l'année. Il est indispensable de déterminer les variations climatiques annuelles, ce qui implique d'une part, dans ce cas, de faire beaucoup de simulations, qui ont un processus long, et d'autre part les données météorologiques annuelles ne sont pas facilement obtenues. A cet effet nous devons choisir la journée représentative des variations des paramètres météorologiques de la région de notre cas d'étude ; ce jour est appelé le Jour de conception, "*Design Day*". Dans ce qui suit, nous présentons un aperçu sur cette notion de la journée de conception et de sa sélection. Cette étude est concentrée sur la sélection de la Journée Conception Biskra, dont on va se servir dans notre simulation.

1.1.1. Définition du Design Day

La simulation du rayonnement solaire incident au tissu urbain dépend essentiellement des variations climatiques annuelles, mais le processus de la simulation est long d'un côté, et d'un autre les données climatiques annuelles ne sont pas toujours disponibles et ne sont pas aussi facilement obtenues. A cet égard, nous avons besoin d'une alternative réduisant les données climatiques comme le "*Design Day*", extrait des données météorologique annuelles effectuant une simulation moins complexe en un temps réduit.

Le jour de conception théoriquement, est le jour ayant l'ensemble des conditions climatiques les plus hostiles permettant à la conception de répondre aux critères durant l'année. C'est un jour historique qui reflète les variations horaires naturelles des paramètres météorologiques, sélectionné à partir d'un ensemble complet de données météorologiques pour une seule journée choisie à partir de l'année. (*Tianzhen, 1999*).

Le jour représentatif est connu comme jour prototype, il doit caractériser les pires cas d'une période d'une classe des conditions météorologiques qui se produisent dans une région et peuvent satisfaire le confort humain. Le jour de conception se compose de 24 valeurs horaires des critères de paramètres climatiques. Les fluctuations météorologiques heure-par-heure sont partagées sur plusieurs heures de la journée. La compréhension des conditions météorologiques d'une région est essentielle pour faciliter le processus de conception et des systèmes énergétiques du bâtiment (*COLDA, 2008*).

1.1.1.1. La sélection du Design Day de Biskra

Pour sélectionner les journées représentatives "*Design Day*" du cas d'étude, Biskra, nous faisons recours au résultat obtenu par *Khelil.S (2016)* où elle a utilisé l'approche AMY (Actual Meteorological year), tout en se servant des données météorologiques 2011.

Dans ce mode de conception, et en fonction de notre objectif, on se contente par la détermination de deux journées représentatives de l'année, exprimant les deux conditions extrêmes de l'année, pour le climat aride de la région, ces deux derniers représentent les deux saisons (S_1, S_2) : estival et hivernal.

A. Identifier les mois le plus représentatif de la région

En premier, nous nous sommes basés sur des moyennes mensuelles des températures pour sélectionner les mois les plus représentatifs pour notre cas, les températures les plus élevées et les plus basses.

T(C°)	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne	9.61	10.70	13.93	20.19	22.99	27.99	33.26	32.59	22.19	20.14	14.50	10.36
Max	20.1	20.9	25.7	32.9	34.9	41.2	44.9	44	40.5	31.9	24	20.9
Min	-2.1	-1.2	1	7.3	12.2	15.7	22.5	22.1	15.6	7.2	5	0.8

Tableau VIII.1 Les valeurs de température du cas de la ville de Biskra. Source : MAY ; 2011.

Khelil.S (2016) a défini les mois les plus représentatifs des deux saisons estival et hivernal (S_1, S_2) ; ce sont :

- Le mois le plus chaud S_1 : *Juillet*
- Le mois le plus froid S_2 : *Janvier*

Et à partir de ces résultats on a pu définir les journées les plus représentatives dans ce qui suit.

B. Identifier les jours le plus représentatif de la région

Après avoir défini les mois les plus représentatifs de l'année (S_1, S_2), ensuite on définit les journées les plus représentatives de ces saisons (J_1 et J_2).

Le jour le plus représentatif de la saison estival (S_1) est le 11 Juillet (J_1) et le plus représentatif de la saison hivernal (S_2) est le 4 Janvier (J_2).

Pour conclure on peut dire qu'on a opté pour cas de la ville de Biskra sur le choix de deux saisons représentatives, dans lesquelles les mois de Janvier et Juillet sont les plus représentatifs de ces saisons et enfin les *Design Days* de ces mois sont le 4 et le 11 de chacun d'eux.

1.1.2. Le type de ciel dominant

La couverture nuageuse joue un rôle important sur le climat, à la fois sur les échanges radiatifs, dont ils permettent de définir le type de ciel dominant durant une année, il permet aussi de caractériser et évaluer le gisement solaire.

A partir de la couverture nuageuse nous pouvons déterminer le type de ciel (quantité des nuages) d'un endroit donné pendant la journée. Exprimé en pourcentage (%), ce taux varie de 0 à 100% : 0 – 10 % indique un ciel clair, 70 – 100 % un ciel couvert et entre 10 et 70% le ciel est intermédiaire. Le tableau suivant présente des données satellitaires de la NASA du taux de la moyenne mensuelle de fréquences de ciel à Biskra de la période (1984-2005).

D'une manière générale on peut tirer de ce tableau que la moyenne annuelle de la couverture nuageuse indique que le ciel dominant à Biskra est de type **intermédiaire**. (*Daiche.S, 2011*). Ce taux est variable pendant la journée mais aussi d'un mois à un autre, il atteint les 60% dans la période hivernal ; cependant il baisse jusqu'à 17% au mois de juillet ;

cela indique que le ciel à Biskra est de type intermédiaire pour la saison **hivernal**, tandis que pour la saison **estival** est considéré comme ciel de type **claire**.

Lat 34. 85 Lon 5.73	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Auo	Sep	Oct	Nov	Dec
Moy 0h	44.2	42.6	46.0	44.5	48.2	41.8	24.0	29.8	37.9	51.0	46.3	44.4
Moy 3h	44.9	43.8	45.2	44.7	46.7	39.2	20.9	25.2	34.4	51.0	46.6	44.6
Moy 6h	45.8	44.9	45.9	41.9	42.5	35.1	17.8	21.2	32.7	50.9	48.4	44.4
Moy 9h	48.2	47.2	51.1	51.7	52.6	45.4	29.3	31.5	38.7	52.8	52.4	47.7
Moy 12h	55.7	58.0	63.0	61.6	60.2	53.5	37.5	40.3	45.3	62.0	60.0	56.7
Moy 15h	53.6	55.5	63.6	63.9	63.7	54.5	39.3	44.7	49.2	59.5	55.7	52.3
Moy 18h	46.4	45.5	53.4	52.2	55.9	47.2	32.7	37.3	41.1	51.7	49.9	47.5
Moy 21h	45.2	42.8	47.4	46.1	50.1	43.8	26.3	33.3	39.2	50.1	47.6	45.1

Tableau VIII.2: Taux de la couverture nuageuse dans les différentes heures GMT (%). Source: NASA Surface meteorology and Solar Energy Data Set.

1.2. Le déroulement de la simulation

Pour chacun des jours de conception **J₁** et **J₂** de Biskra déterminés précédemment, le logiciel *SOLENE* est utilisé pour faire la simulation afin de prouver notre hypothèse. Notre simulation se fait sur des modèles 3D simplifiés de trois quartiers sélectionnés auparavant pour le **J₁** et **J₂**, puis nous comparons les résultats pour les trois cas.

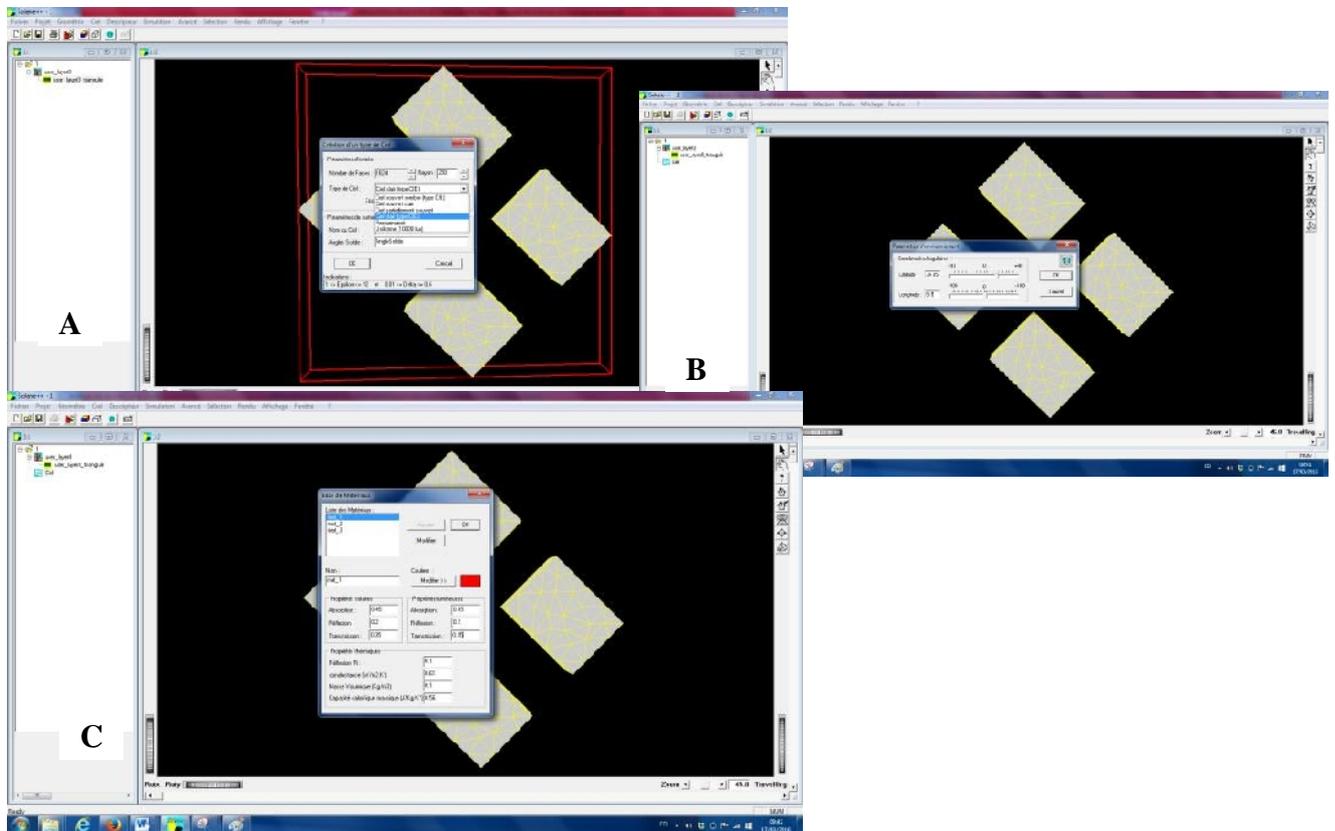


Figure VIII.1: Les différentes étapes de l'insertion des données au logiciel de simulation numérique Solene ; **A** : la construction du ciel ; **B** : les données du lieu ; **C** : les caractéristiques des matériaux. Source : Auteur .

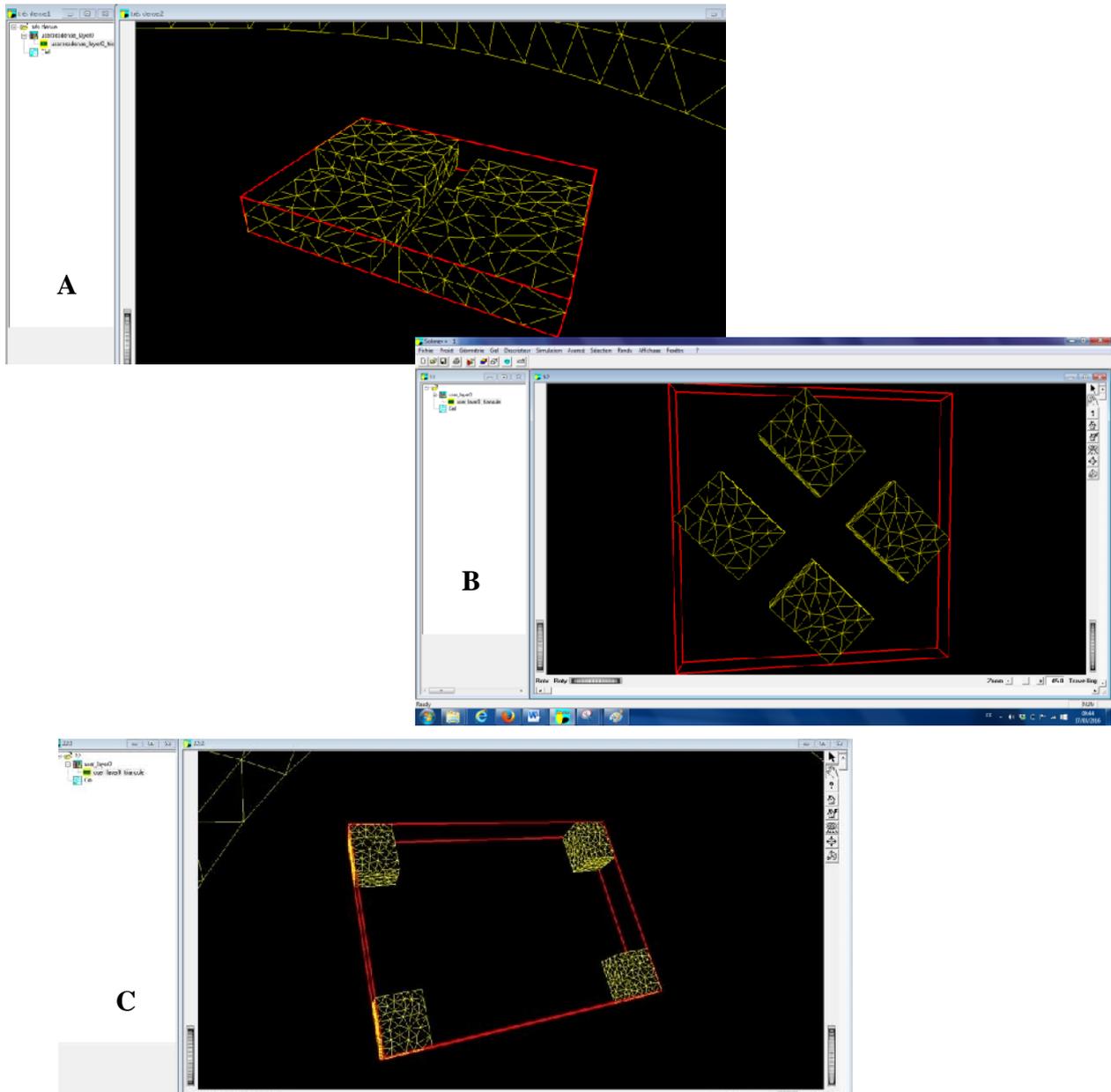


Figure VIII.2: Les différentes configurations lors de la simulation par le logiciel Solene ; **A** : modèle très dense ; **B** : modèle dense ; **C** : modèle lâche. Source : Auteur.

Durant cette étape, les mises en garde suivantes doivent être soulignées :

- Les orientations de toutes les configurations de bâtiments réels sont maintenues, lors de la simulation numérique sur les modèles 3D idéalisés.
- Les caractéristiques des matériaux de constructions sont unifiées.
- L'énergie solaire globale est prise comme la somme de l'énergie directe et l'énergie diffusée.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Présentation des résultats : l'énergie globale incidente

Dans cette étape on fournit une évaluation de l'énergie solaire globale cumulée de trois configurations urbaines de différentes densités (Très dense, Dense et Lâche) sous les conditions climatiques de la ville de Biskra le cas de notre étude.

L'estimation de l'énergie solaire incidente et disponible en (KWh/m²) sera établie pour chaque triangle qui compose l'enveloppe de la géométrie des modèles urbains proposés, représentatifs des configurations urbaines étudiées fournies au logiciel.

Signalons que les surfaces de chaque triangle composant l'enveloppe de la géométrie de ces modèles est entre 0 et 10 m².

Cumul /Variantes	Très dense	Dense	Lâche
Janvier (Kwh/m ²)	43.1641732	49.0260084	75.6551048
S-Hivernale (Kwh/m ²)	174.656693	196.104034	302.620419
Juillet (Kwh/m ²)	58.5757006	84.6325568	92.9846566
S-Estivale (Kwh/m ²)	234.302803	338.530227	371.938626
Annuelle (Kwh/m ²)	817.918991	1069.2685224	1349.11809

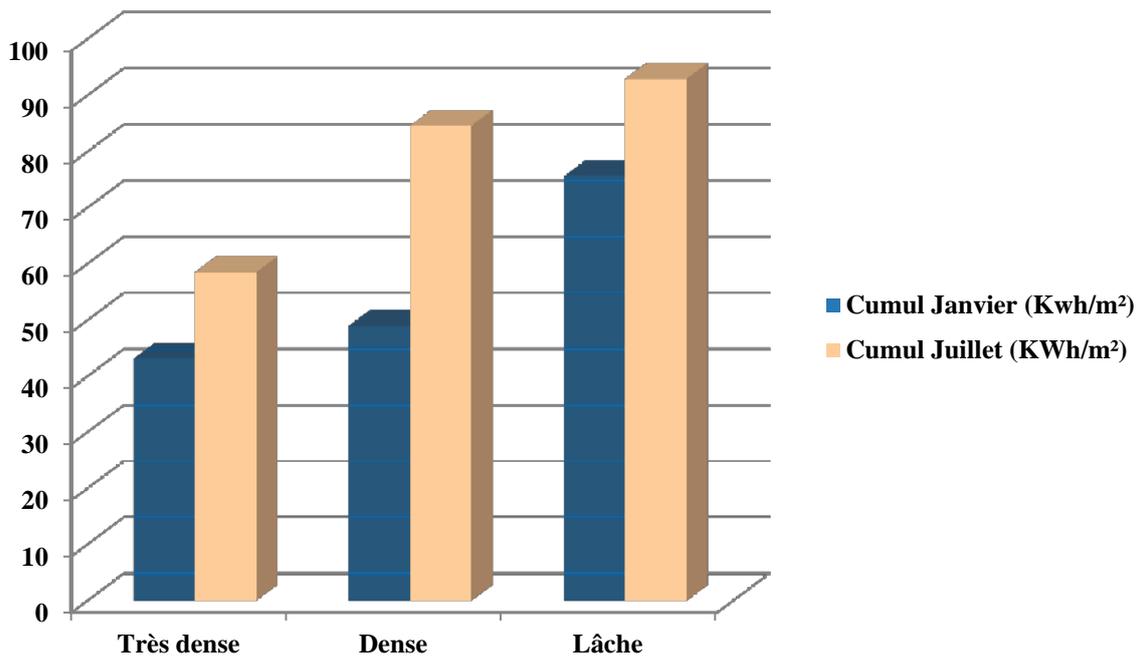
Tableau VIII.3: Les radiations solaire globale cumulé de l'enveloppe des différentes configurations étudiier, élaboré par le logiciel Solene. Source : Auteur.

Sur le tableau (VIII.3) ci-dessus on présente les résultats de la simulation numérique par le logiciel *Solene*. Il illustre l'énergie solaire globale cumulée reçue par l'enveloppe des différentes configurations urbaines, pour les mois représentatif de chacune des deux saisons : hivernale et estivale, ainsi que l'énergie globale cumulée annuelle en (KWh/m²).

Pour les trois cas simulés la saison hivernale est représentée par un ciel intermédiaire et la saison estivale à par un ciel clair.

Le graphe (VIII.1) décrit l'énergie globale cumulée mensuelle incidente pour chaque configuration ; dont elle est maximale au mois de janvier pour la configuration lâche ; tandis qu'elle diminue pour les deux autres configurations ; dense et très dense ; pour le mois de juillet elle est aussi maximale pour la configuration lâche, minimale pour la configuration très dense ; et moyenne pour la configuration dense.

l'énergie solaire globale cumulé mensuelle incidente



Graphe VIII.1 : L'énergie solaire globale cumulée mensuelle incidente, établie par Excel 2010. Source : Auteur

Pendant la saison hivernale les gains solaires sont maximaux pour la configuration lâche dépassant les 300 KWh/m² ; de même pour la saison estivale et ne dépasse pas les 370 KWh/m². Durant la saison estivale les gains solaires dépassent les 338 KWh/m² pour une configuration dense mais n'atteignent pas les 200 kWh/m² pour la saison hivernale. Ces quantités diminuent beaucoup pour la configuration urbaine très dense dont les gains solaires de la saison estivale n'atteignent même pas 240 KWh/m², alors que pour la saison hivernale est égale à 174 KWh/m².

Une différence bien claire de la quantité de l'énergie solaire globale cumulée entre les trois configurations urbaines durant les différentes saisons.

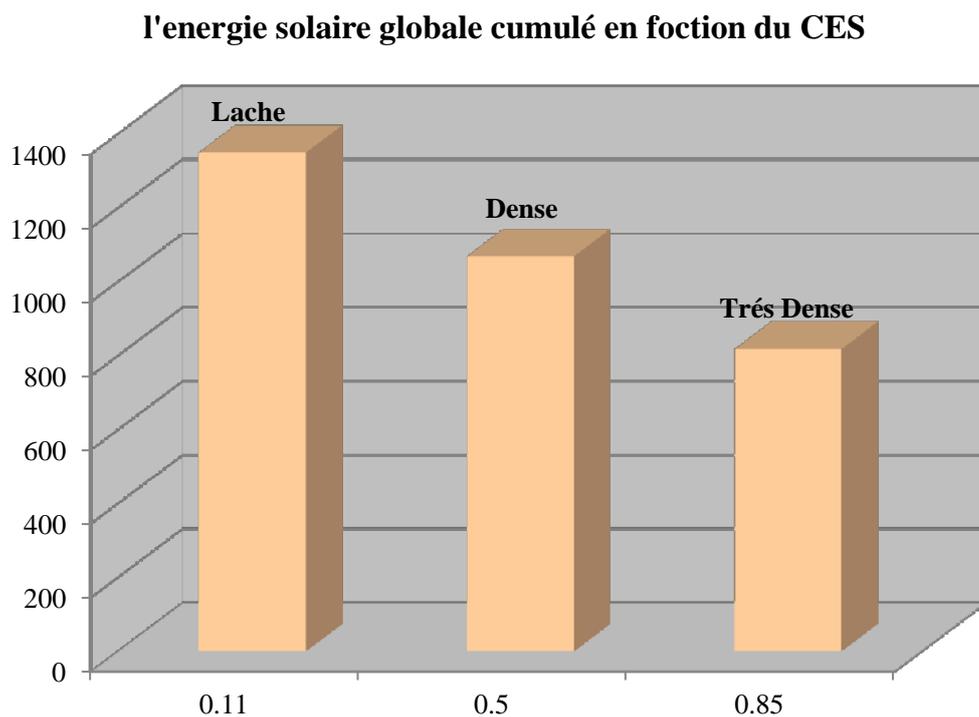
L'évaluation de la disponibilité du rayonnement solaire globale va servir par la suite d'étudier la viabilité des enveloppes des configurations idéalisées, pour déterminer les surfaces de chaque triangle de la géométrie de l'ensemble des trois modèles urbains de différentes densités, pour pouvoir à la fin comparer la viabilité des différentes configurations urbaines.

2.2. Discussions des résultats

Après avoir fait l'évaluation de l'énergie solaire globale cumulée de chaque configuration indépendamment de l'autre on va essayer de comparer l'ensemble des modèles urbains.

Bien que les journées d'application de la simulation numérique aient été choisies soigneusement pour représenter les deux saisons (estivale et hivernale) n'empêche qu'il existait des différences entre les trois configurations urbaines sélectionnées ; simulées sous les mêmes conditions climatiques. Nos repères de comparaison sont les indicateurs de la densité tirée de l'étape précédente (le positionnement sur le diagramme *SpaceMate*) des modèles urbains examinés auparavant.

A travers les graphes suivants on essaye de déceler les causes et les indicateurs qui influent le plus sur la quantité reçue de l'énergie globale cumulée au sein des tissus urbains sous les mêmes conditions climatiques.



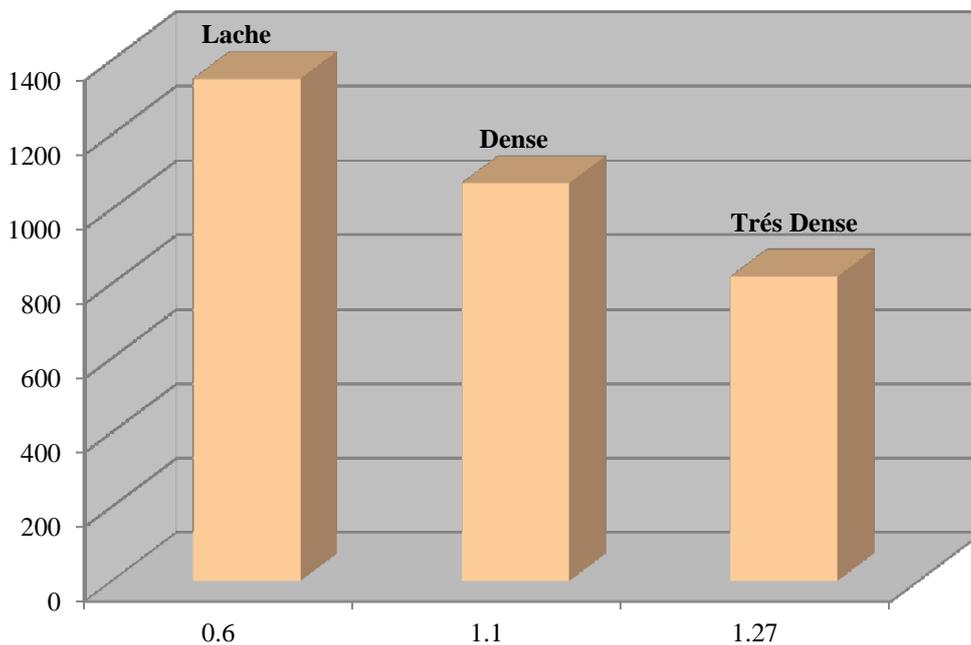
Graphe VIII.2: L'énergie solaire globale cumulé en fonction du CES des trois modèles idéalisé des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel. Source : Auteur.

Le graphe (VIII.2) représente la quantité de l'énergie solaire globale cumulée annuelle reçue sur l'enveloppe des trois configurations urbaines étudiées en fonction du Coefficient d'Emprise au Sol (CES).

La configuration urbaine très dense présente la plus basse quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée, contrairement, à la configuration urbaine lâche qui représente la plus importante quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée reçue par l'enveloppe bâtie, tandis que la configuration urbaine dense exprime une quantité moyenne à comparer avec les deux précédentes. Ceci peut se traduire par le fait que la surface d'enveloppe de la configuration lâche est plus exposée au rayonnement solaire que les autres configurations, ce qui accroît la quantité reçue par cette dernière.

D'après ce graphe il est clair que plus le CES est faible plus la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie est importante ; et moins est l'effet d'obstruction des bâtiments les uns sur les autres ; et à l'inverse plus est l'emprise au sol est importante moins est importante la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie ; et plus est l'effet d'obstruction des bâtiments les uns sur les autres. Ce qui génère une corrélation négative entre l'emprise au sol et la quantité d'énergie reçue par l'enveloppe bâtie. Plus le CES est important plus est l'effet d'obstruction moins est la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie.

L'énergie solaire globale cumulé en fonction du COS



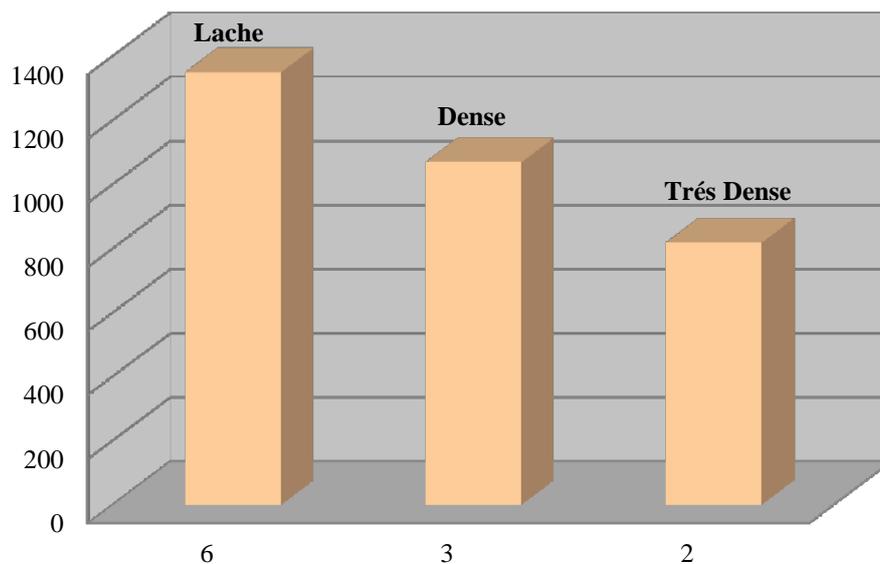
Graphe VIII.3 : L'énergie solaire globale cumulé en fonction du COS des trois modèles idéalisés des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel. Source : Auteur.

Le graphe (VIII.3) représente la quantité de l'énergie solaire globale annuelle cumulée reçue sur l'enveloppe des trois configurations urbaines étudiées en fonction du Coefficient d'Occupation du Sol (COS).

Sur ce graphe on voit clairement que la configuration urbaine lâche montre la quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée reçue par l'enveloppe bâtie la plus importante ; contrairement, la configuration urbaine très dense montre la quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée la plus réduite, tandis que la configuration urbaine dense représente une quantité moyenne à comparer aux deux autres. Ceci se traduit par le fait que la surface d'enveloppe exposée au rayonnement solaire de la configuration lâche est plus importante (surface d'enveloppe plus grande) que celle des autres configurations, ce qui accroît la quantité reçue par cette dernière. De ce fait plus le COS est important plus les surfaces exposées au rayonnement solaire sont moins importantes que les configurations à un COS plus faible, ce qui accroît la quantité reçue par cette dernière.

De même pour le COS ; plus il est faible plus la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie est importante, et à son opposé ; plus est l'Occupation du Sol est importante moins est importante la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie ; ce qui engendre une corrélation négative aussi entre l'occupation du sol et la quantité d'énergie reçue par l'enveloppe bâtie. Plus le COS est important plus sont les surfaces d'enveloppe bâtie des configurations urbaines sont exposées aux rayonnements solaires et donc plus est importante la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie.

L'énergie solaire globale cumulé en fonction du nombre d'étage



Graphe VIII.4 : L'énergie solaire globale cumulé en fonction du nombre d'étages des trois modèles idéalisés des configurations urbaines du cas d'étude ; construit par Excel. Source : Auteur.

Le graphe (VIII.4) représente la quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée reçue sur l'enveloppe des trois configurations urbaines étudiées en fonction du nombre d'étages de chacune d'entre elles.

On voit bien sur le graphe (VIII.4) que la configuration urbaine lâche montre la quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée reçue par l'enveloppe bâtie la plus importante ; par contre, celle qui représente une densité urbaine très importante (configuration très dense) semble avoir la quantité d'énergie solaire globale annuelle cumulée la plus réduite, et la quantité moyenne est représentée par la configuration urbaine dense.

Il semble que plus les constructions ont un nombre d'étages importants plus la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie est élevée, et à l'inverse plus le nombre d'étages est réduit plus est réduite la quantité d'énergie solaire reçue par l'enveloppe bâtie. C'est-à-dire plus le nombre d'étages est important plus la surface de l'enveloppe bâtie est plus grande, contrairement aux configurations urbaines à un nombre d'étages petit ont une surface d'enveloppe bâtie petite. Donc plus la surface d'enveloppe est grande plus la quantité d'énergie solaire reçue par cette dernière est importante.

A travers les résultats illustrés par les graphes ci-dessous on peut retenir que ces trois indicateurs influents beaucoup sur la quantité d'énergie reçue par l'enveloppe bâtie. Ils engendrent une corrélation négative entre le Coefficient d'Occupation du Sol et le Coefficient d'Emprise au Sol ; par contre une corrélation positive se développe entre le nombre d'étages ainsi que les surfaces d'enveloppes des constructions et la quantité d'énergie reçue par ces dernières.

2.3.La viabilité de l'enveloppe des configurations

Pour satisfaire les besoins quotidiens d'énergie en électricité et en chauffage, de nombreuses techniques basées sur l'énergie solaire sont en voie de développement.

Ces techniques ont pour but de capter cette énergie solaire et de la convertir. On peut distinguer le solaire passif (par les baies vitrées, les serres) ; et actif sous deux formes : le solaire photovoltaïque par des capteurs de panneaux qui permettent de convertir le rayonnement solaire en électricité et le solaire thermique qui permet de convertir le rayonnement solaire en chaleur.

Selon *R.Compagnon et all (2006)* les valeurs de seuil de ces techniques ont été définies (Voir chapitre I §6.5 ; p 36), et déterminées sur la base des limites techniques actuelles ainsi que des considérations économiques. À titre récapitulatif de ces seuils :

Le potentiel solaire est défini comme le pourcentage de la superficie de la façade qui reçoit, en moyenne, 400 kWh/m².an (collecteur thermique) et 800 kWh/m².an (systèmes photovoltaïques), ou plus de rayonnement solaire annuel. Tandis que les seuils requis pour la conversion de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque sur les toitures, en considérant des conditions normales d'opération, correspondent à 600 kWh/m².an et 1000 kWh/m².an, respectivement (*R.Compagnon, 2004*) (*Montavon, 2010*)

Pour l'application solaire passive on doit le calculer à partir de la formule définie aussi par *R.Compagnon(2000)* (Voir chapitre V §2.2.1).

Le paramètre G_{seuil} est calculé par la formule suivante :

$$G_{\text{seuil}} (\text{KWh m}^2) = \frac{24 \text{ DDU}}{1000gn}$$

Prenant :

$$U = 1.3 \text{ w/m}^2\text{k}$$

$$g = 0.75$$

$$\text{DD} : 2114 \text{ (voir l'annexe)}^1$$

$$\text{Si } n = 0.7$$

$$G_{\text{seuil}} (\text{KWh m}^2) = \frac{24 * 2114 * 1.3}{1000 * 0.75 * 0.7}$$

$$G_{\text{seuil}} = 125.632 \text{ KWh m}^2$$

Les quantités de l'énergie solaire globale incidente cumulée retenues de l'étape précédente vont nous permettre d'estimer le potentiel des différentes applications des systèmes solaires, à savoir les techniques passives et actives.

2.3.1. Présentations des résultats

L'examen de l'enveloppe des configurations urbaines s'est faite à l'aide du programme calculette *Excel 2010* ; par la sélection de chaque triangle de l'enveloppe de la géométrie ; qui répond aux conditions des seuils des différentes applications des systèmes solaires.

Il est nécessaire de rappeler que l'enveloppe des trois géométries de cas d'étude est transformée en une grille composée d'une série de triangles de surfaces différentes et cela

¹ URL : [<http://www.degreedays.net/#generate>] ; (consulté le 17/03/2016 à 00h30).

selon le mode de fonctionnement du logiciel de simulation *SOLENE* (le logiciel transforme l'enveloppe de la géométrie à une grille triangulée). La surface de chaque triangle est comprise entre 1et 10m².

Le tableau suivant (VIII.4) représente les résultats de la viabilité des surfaces de l'enveloppe bâtie donnée en pourcentage (%) pour les trois configurations urbaines étudiées.

Surface/Variantes	Très dense	Dense	Lâche
A-façade (%)	61.97	98	78.57
A-toiture (%)	100.00	100.00	100.00
PV -façade (%)	54.44	47.08	78.57
PV –toiture (%)	100.00	100.00	100.00
Passive (%)	91.19	100.00	99.81

Tableau VIII.4 : La viabilité des différentes des surfaces des enveloppes des modèles urbains en %.
Source: Auteur.

Les résultats illustrés dans le tableau (VIII.4) donnent la somme totale des surfaces en (%) des trois modèles urbains étudiés qui répondent aux conditions des seuils des applications solaires. (Voir l'annexe pour les calculs détaillés).

Les valeurs supérieures répertorient les surfaces les plus propices à accueillir des systèmes de captages de l'énergie solaire.

Le tableau démontre que les toitures reçoivent la plus grande quantité de rayonnement solaire. Par contre, pour les autres applications ; la viabilité de leurs surfaces de façades varie de façon très différente d'un cas à un autre.

L'histogramme présenté dans ce qui suit (§ 2.3.2) caractérise le "gisement solaire" de trois tissus urbains de densité urbaine variée. Il devient possible de juger son potentiel de production "solaire" et de le comparer à ses viabilités des applications solaires. Ensuite une série d'histogrammes représentée donne, pour chaque variante, le pourcentage des surfaces viables des enveloppes (façades + toitures) qui capte le rayonnement solaire global annuel approprié aux applications des systèmes solaires.

Dans cette étape finale ; en plus de la présentation des résultats sur les histogrammes, on affiche les résultats de la viabilité sous forme d'image par le logiciel de simulation numérique *SOLENE* sur des surfaces des enveloppes des configurations urbaines de sorte que seules les

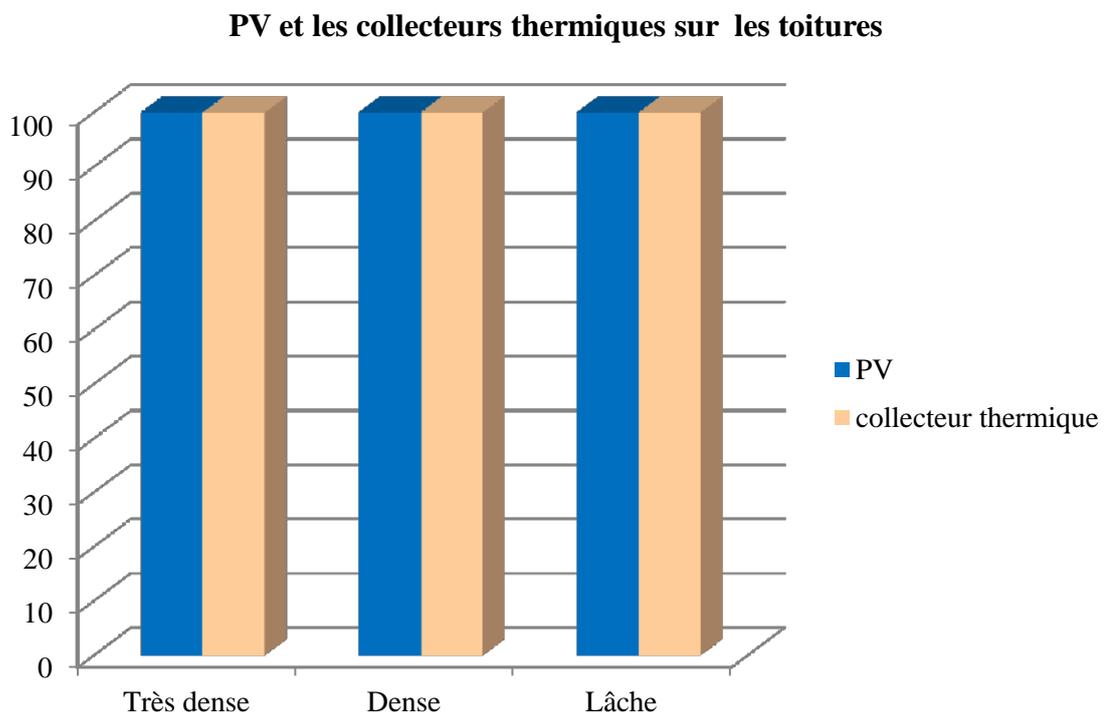
surfaces des tringles qui dépassent les conditions des seuils des applications solaires soient colorées en dégradations de pixel selon le degré de captage et de la viabilité.

Ceci va nous permettre la discussion de ces résultats ainsi que la comparaison de la viabilité des trois modèles urbains ; l'influence des masques urbains et des obstructions sur l'accès solaire et par la suite leur influence sur la viabilité des surfaces de l'enveloppe bâtie.

Les histogrammes suivants représentent les résultats finaux de la sélection des triangles viables aux différentes applications solaires, (Les tableaux des résultats détaillés sont présentés dans l'annexe) ; ce qui nous permet de faire la comparaison des valeurs des trois modèles évalués, ils permettent aussi une analyse plus fine des possibilités d'exploitation de ce potentiel.

2.3.1.1. La viabilité des toitures

L'historgramme (VIII.5) représente le pourcentage de viabilité des toitures des trois configurations urbaines, pour les deux applications solaires actives et photovoltaïques.



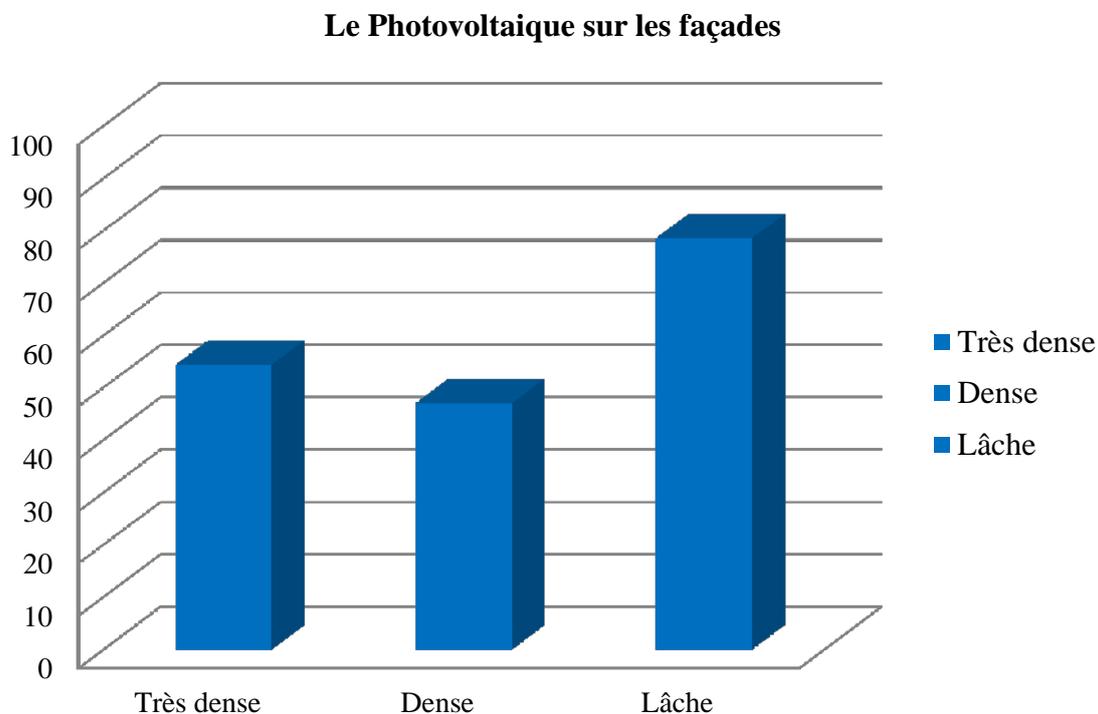
Graph VIII.5: La viabilité des systèmes solaires (photovoltaïques et collecteurs thermiques) des toitures des enveloppes des modèles urbains en pourcentage(%). Source : Auteur.

L'historgramme (VIII.5) représente le pourcentage de viabilité des toitures des trois configurations urbaines, pour les deux applications solaires thermiques et photovoltaïques.

Il est très clair que la viabilité des toitures des trois cas d'étude ; pour les deux applications est totalement similaire, ce qui est dû aux effets négligeables des obstructions sur des toitures des constructions avoisinantes même si les hauteurs de ces constructions sont variées au sein d'un même quartier.

2.3.1.2. La viabilité des parois verticales

Les histogrammes suivants représentent la viabilité des parois verticales en pourcentage (%) pour les trois configurations urbaines, des deux applications solaires thermiques et photovoltaïques (PV).

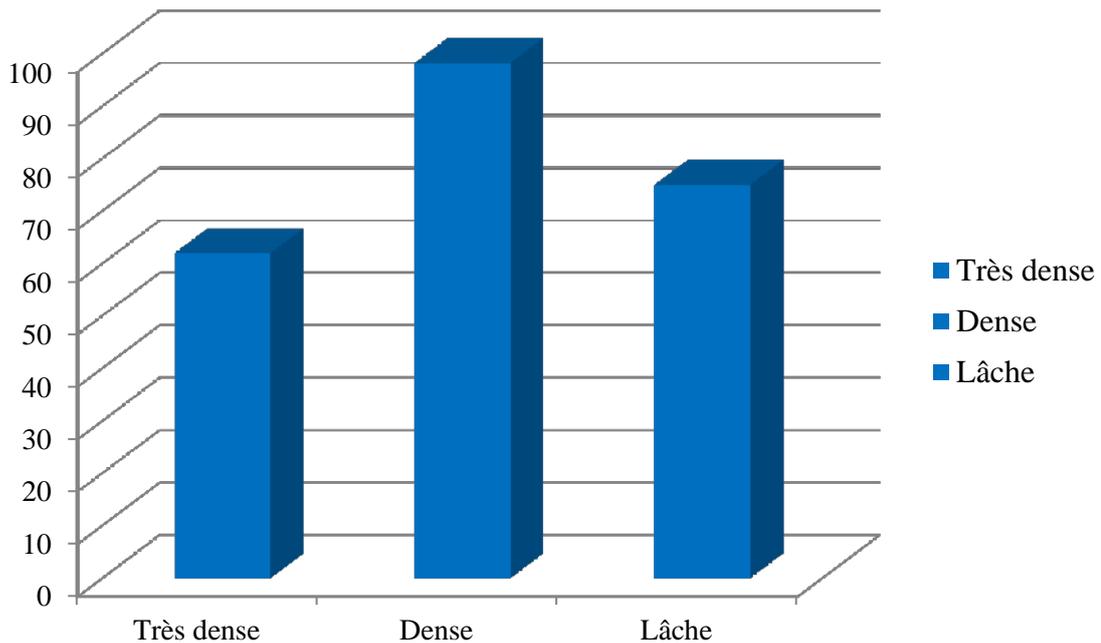


Graphes VIII.6: La viabilité du système solaire photovoltaïque des façades des modèles urbains en pourcentage(%). Source : Auteur.

Le photovoltaïque des façades, démontré sur l'histogramme (VIII.6), exprime les pourcentages (%) les plus faibles à comparer aux autres applications. La configuration dense représente le plus faible pourcentage (47.08 %) et celle très dense est d'une valeur moyenne (54.44%) ; tandis que la configuration lâche exprime la valeur la plus élevées (78.58%).

Ceci n'est dû qu'aux effets des obstructions engendrées par les variations des hauteurs des constructions avoisinantes sur les parois verticales, ce qui empêche les rayons solaires d'atteindre la surface d'enveloppe bâtie.

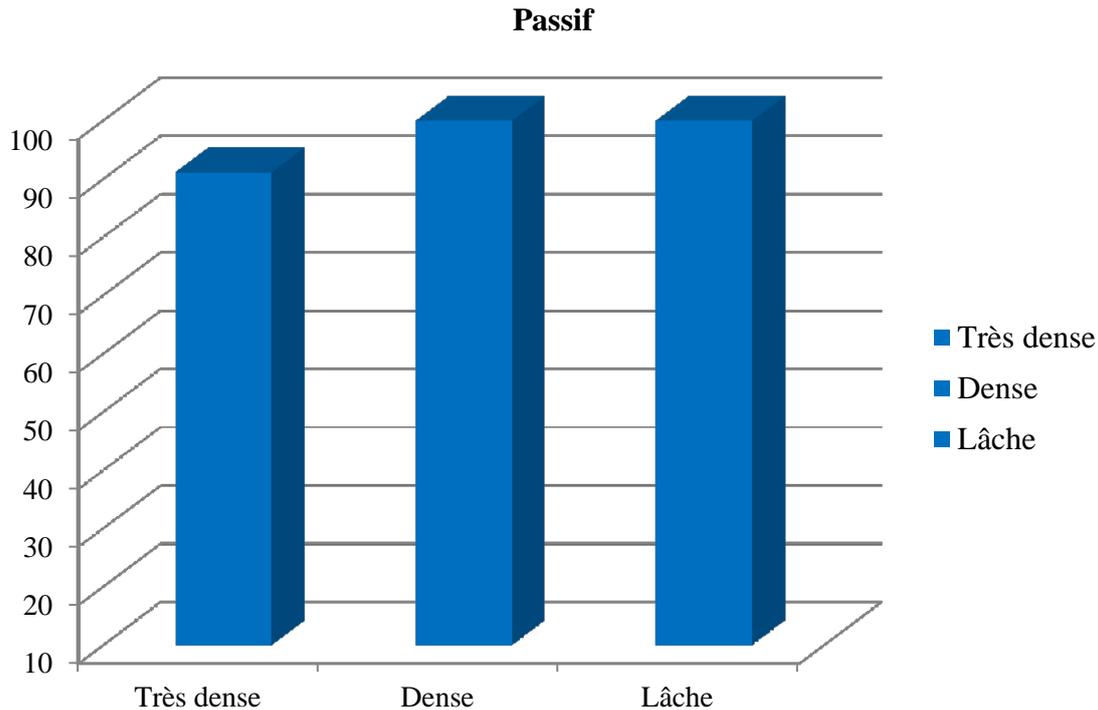
Les collecteurs thermiques sur les façades



Graphe VIII.7 : La viabilité des collecteurs solaires thermiques pour les façades des modèles urbains en pourcentage(%). Source : Auteur.

L'histogramme (VIII.7) démontre que le pourcentage de la viabilité des applications thermiques pour les façades atteint son maximum (98.24 % proche à 100%) pour la configuration intermédiaire (dense) ; contrairement à celle de la configuration très dense est la plus basse avec un pourcentage de 61.97%, tandis que la configuration lâche quand à elle ; elle affiche le pourcentage moyen 78.58%.

Les résultats qu'affiche la viabilité solaire passive sur l'histogramme (VIII.8) ci-dessus sont considérablement proches pour les trois cas. Le cas très dense représente une valeur un peu moins basse comparativement aux deux autres cas qui sont égaux (le lâche et le dense).



Graphe VIII.8: La viabilité solaire passive pour les façades des modèles urbains en pourcentage(%). Source : Auteur.

2.3.2. La discussion des résultats

Les résultats obtenus démontrent comment le potentiel solaire varie selon la densité de la configuration urbaine, et selon le plan exposé vertical (façades) et/ou horizontal (toitures).

(Il est important de noter que la flèche verte sur les figures indique l'orientation nord pour toutes les configurations).

2.3.2.1. Les toitures

Pour ces trois cas les toitures (plans horizontaux) sont plates, et reçoivent le maximum de quantité de rayonnement solaire cela est dû aux effets des obstructions négligeables sur les toitures dans même un tissu urbain. Ces résultats ont été aussi confirmés par **R.Compagnon(2001)** ; lors de l'évaluation du potentiel de captage du rayonnement solaire ; cas du quartier *Pérolles* à Fribourg ; où l'évaluation s'est limitée uniquement pour les façades : *“dans un même quartier, les hauteurs variant généralement peu d'un édifice à un autre, le potentiel de captage des toitures n'est que peu perturbé par les bâtiments voisins. Par contre, les effets d'obstruction sont nettement plus marqués sur les façades”*.

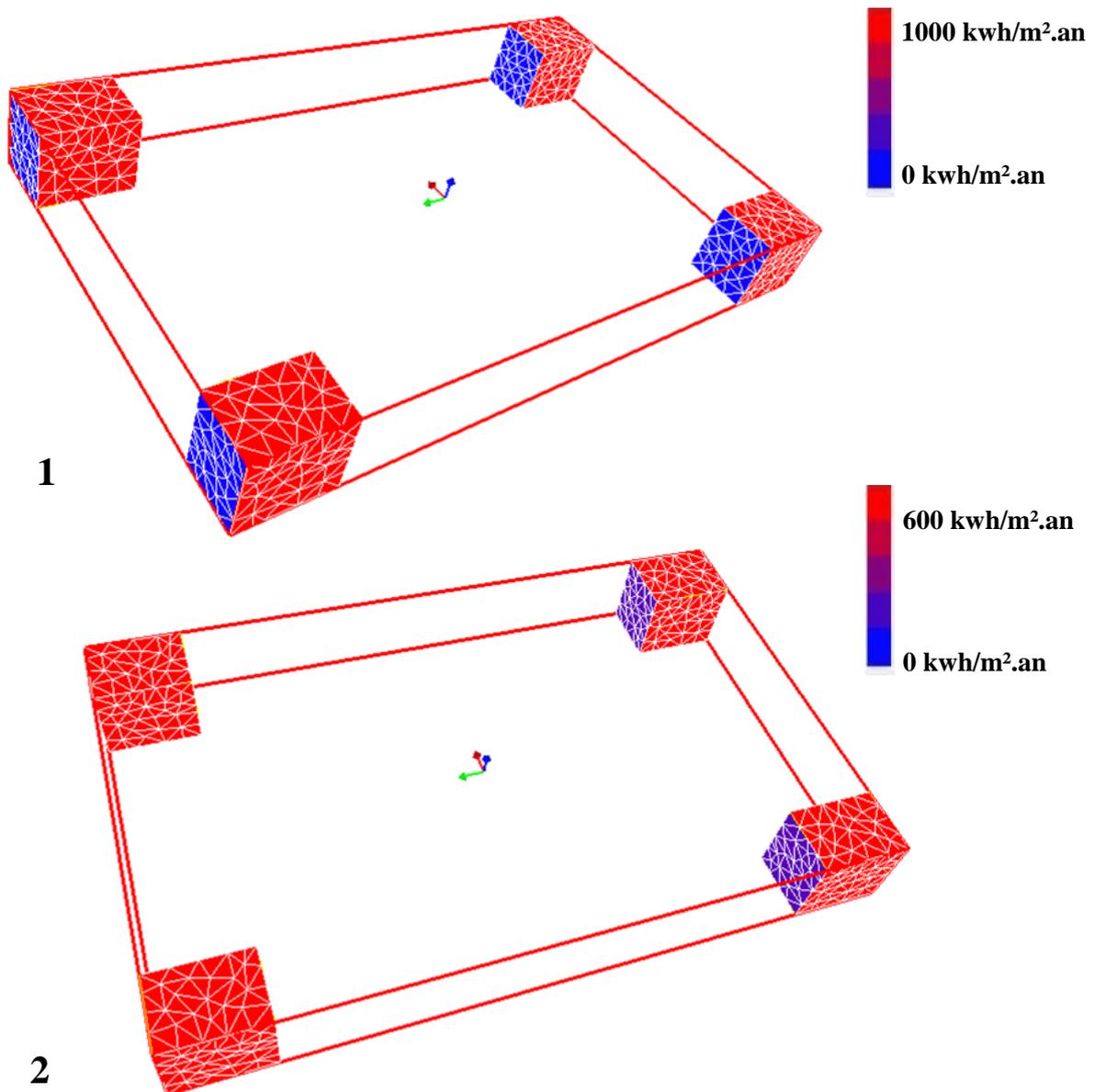


Figure VIII.3: Visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration Lache; 1: Photovoltaïque; 2: thermique. Source: Auteur.

R. Compagnon en 2004, a abordé une autre étude de comparaison de trois tissus urbains dont il a confirmé que les effets des obstructions sont négligeables sur les toitures quand les hauteurs ne sont pas si importantes dans un même tissu : “Les toits sont généralement situés à une hauteur qui ne varie pas en grande partie entre les bâtiments voisins. Cela signifie qu'ils ont une bonne vue de la voûte du ciel et les effets d'ombre sont limités. Le potentiel pour la collecte de l'énergie solaire sur les zones de toit, donc, reste moins affecté par le tissu urbain. Au contraire, les bâtiments voisins affectent largement les façades” ce qui est aussi le cas de nos trois configurations ; les hauteurs sont peu variables pour chaque configuration prise isolément.

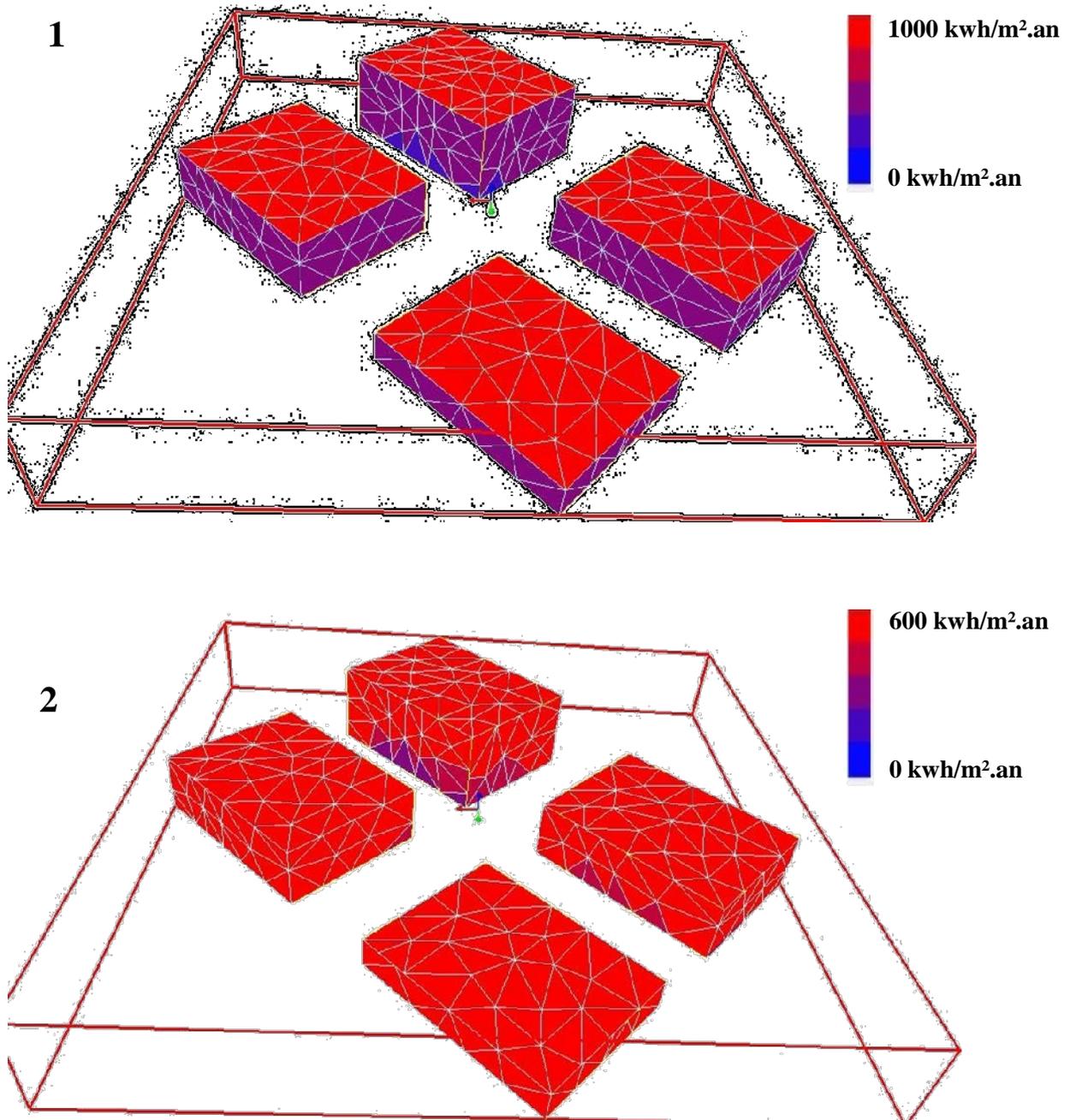


Figure VIII.4: Visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration dense ;
1 : Photovoltaïque ; 2 : thermique. Source : Auteur.

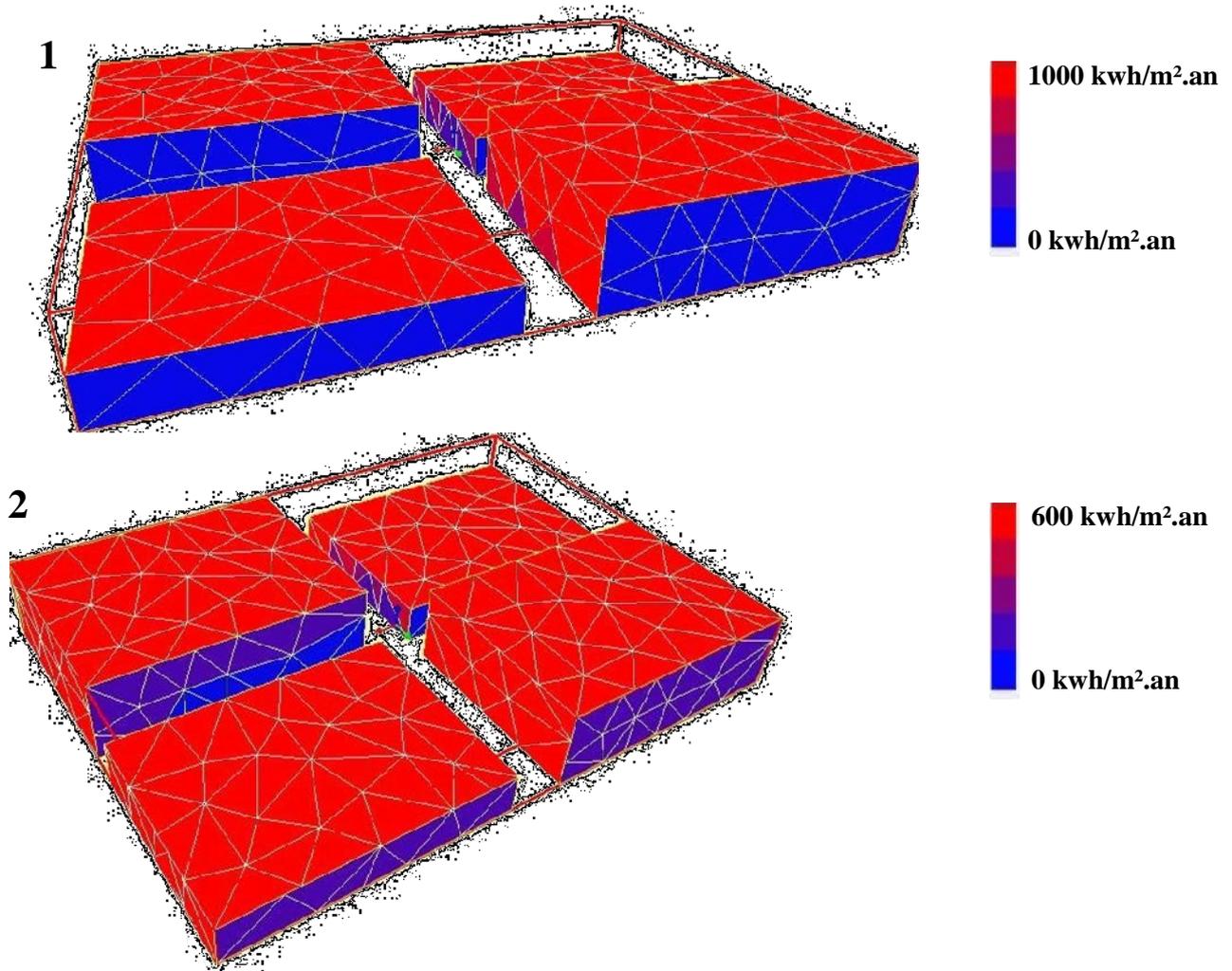


Figure VIII.5: visualisation des résultats des applications solaires des toitures de la configuration très dense ;
 1 : Photovoltaïque ; 2 : thermique. Source : Auteur.

La visualisation des résultats sur les configurations simulées est exposée dans la série des figures : VIII.3, VIII.4, VIII.5. Ils ont démontré que les toitures pour les deux applications solaires thermiques et photovoltaïques sont en couleur rouge ce qui exprime des valeurs d'énergie solaire incidente sur ce plan (plan horizontale des toitures) qui dépassent les valeurs des seuils (600 kwh/m².an pour le thermique et 1000 kwh/m².an pour le photovoltaïque). De ce fait les toitures des trois cas sont exploitables aux différentes applications solaires.

2.3.2.2. Les façades

Contrairement aux plans horizontaux (les toitures) ; le potentiel solaire est variable pour les parois verticales (les façades) sur plusieurs classes de façon très différente et cela pour les trois configurations de densités urbaines variées ; les obstructions dans ce cas ne sont pas

négligeables et ont des effets négatifs d'occultation des quantités importantes de rayonnement solaire.

2.3.2.2.1. Les collecteurs solaires thermiques

Le potentiel solaire des applications des collecteurs thermiques varie au niveau des façades pour les trois configurations urbaines. Un écart important est de 36.03 % pour ces techniques d'exploitation thermique de l'énergie solaire entre la configuration dense et celle très dense, et de 19.43% entre le cas dense et le cas lâche, ce qui est bien clair sur les figures : VIII.6, VIII.7, VIII.8 ; par les dégradations de couleurs sur ces derniers.

Des surfaces complètement en une seule couleur au-dessous de celle du seuil malgré la surface de l'enveloppe bâtie importante s'affichent sur la configuration lâche et qui sont orientées vers le Nord. Pour le cas très dense des surfaces de couleurs variables d'un triangle à un autre sur plusieurs surfaces ce qui est dû aux effets des obstructions des constructions avoisinantes engendrée par la haute densité de cette configuration (COS et CES élevé). Pour le cas dense à part quelques triangles qui s'affichent sur une seule façade malgré la surface moyenne de son enveloppe bâtie, elle affiche la viabilité la plus élevée. Ce qui justifie les résultats numériques.

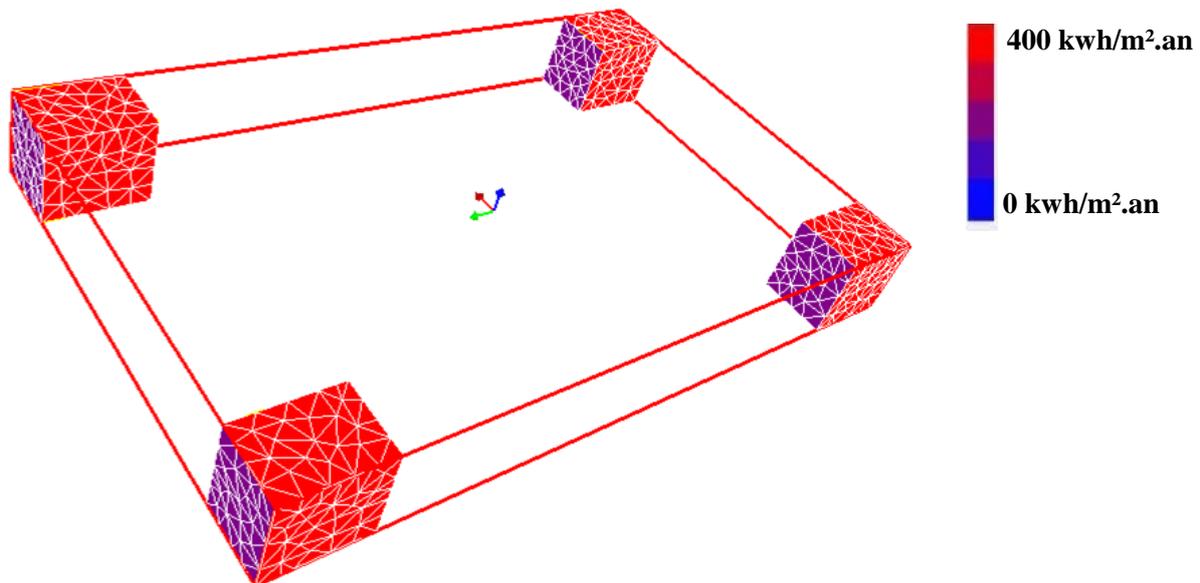


Figure VIII.6: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration lâche. Source : Auteur.

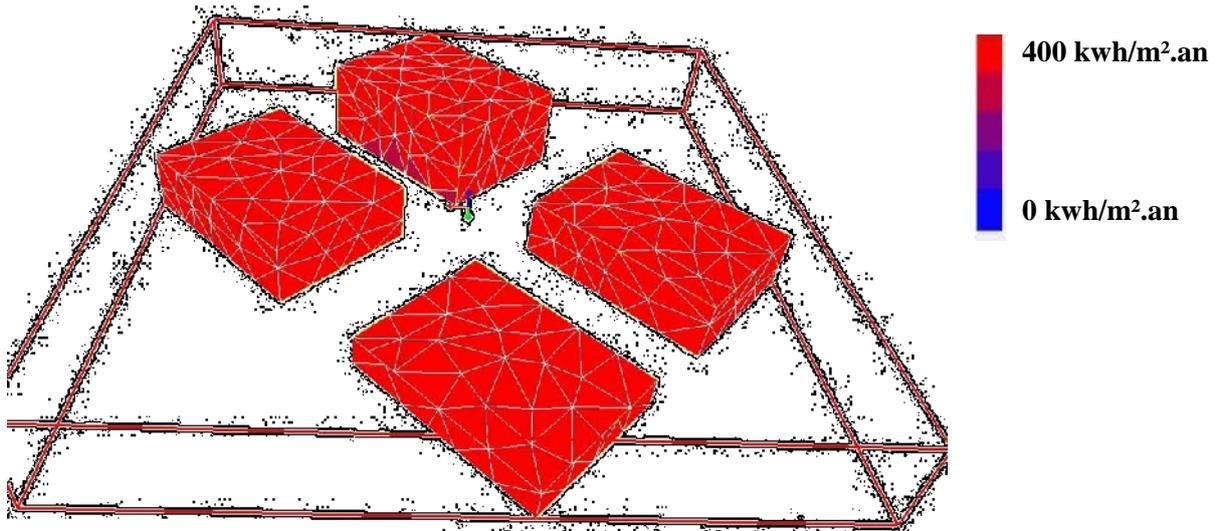


Figure VIII.7: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration dense. Source : Auteur.

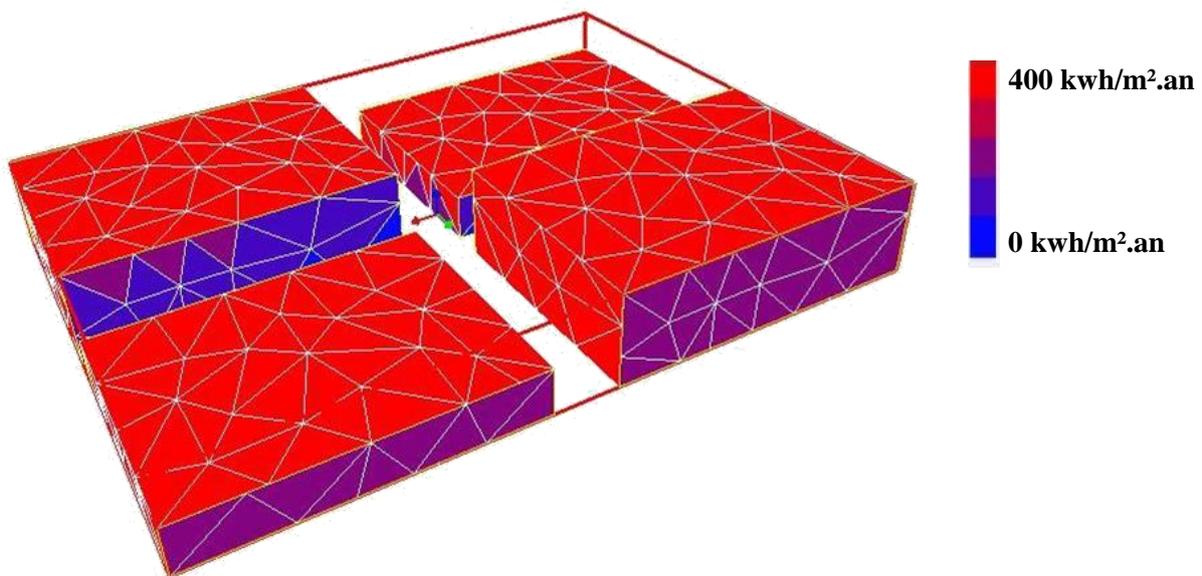


Figure VIII.8: Visualisation des résultats des collecteurs solaires thermiques des façades de la configuration très dense. Source : Auteur.

Une corrélation négative est décrite entre la densité urbaine et les surfaces exposées au rayonnement solaire.

A l'encontre la configuration dense enregistre la plus importante valeur pour les collecteurs thermiques au niveau des façades, ce qui est bien visualisé sur les surfaces verticales où leur totalité est pratiquement colorée en rouge (valeur du seuil) c'est-à-dire qu'elle dépasse le seuil ; sauf quelques triangles.

Comme a déjà été évoqué que la configuration dense est d'une orientation différente à comparer aux deux autres (Nord-Est/Sud-Ouest) ; ceci indique que l'orientation des configurations urbaines influe aussi sur l'exploitation d'énergie solaire. **R. Compagnon(2004)** a déjà confirmé l'effet considérable de l'orientation sur l'exploitation de l'énergie solaire.

2.3.2.2.2. Les applications solaires photovoltaïques

Pour les techniques d'exploitation l'énergie solaire photovoltaïque (PV) varie considérablement d'une configuration à une autre ; d'un écart de 31.49% entre la configuration dense et lâche, et de 24.13% entre le cas lâche et le très dense.

Cette variation est bien illustrée par les dégradations de couleurs de triangles composant les façades des configurations étudiées sur les figures : VIII.9, VIII.10 et VIII.11.

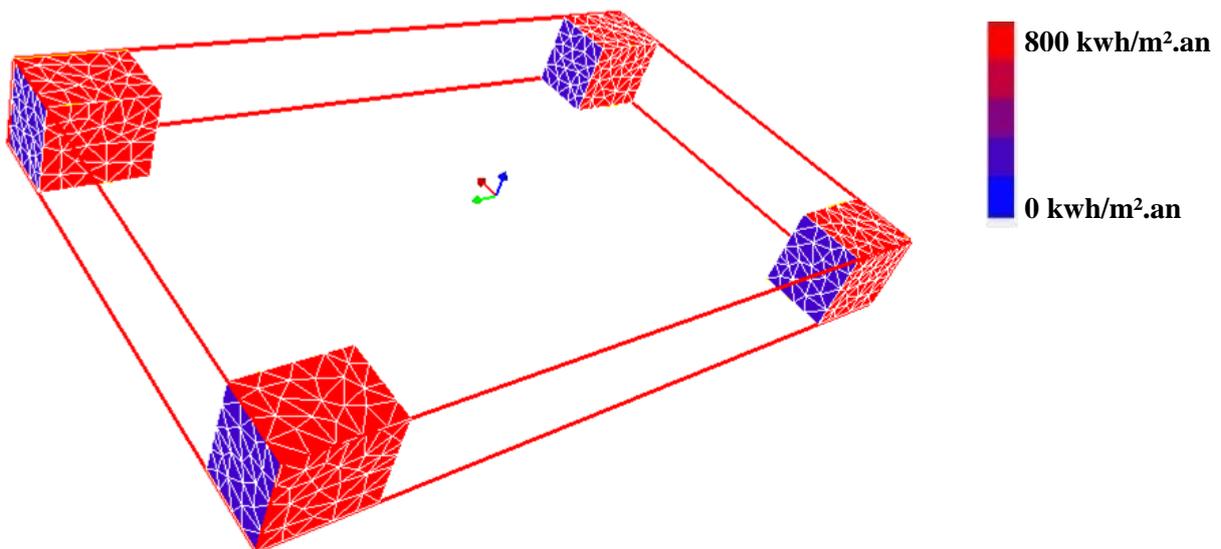


Figure VIII.9: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration lâche. Source : Auteur.

Ils indiquent que les panneaux photovoltaïques ont un rendement plus faible au niveau des façades pour le cas très dense (une densité importante) à comparer aux autres cas (lâche et dense), ce qui a été aussi confirmé dans le projet de recherche **SOLURBAN (2004)**. Les dégradations de couleurs confirment aussi, que les surfaces exposées au rayonnement solaire expriment une corrélation négative avec la densité urbaine ; plus la densité est importante moins sont les surfaces exposées ; ce qui réduit les effets notables des obstructions sur les applications solaires photovoltaïques.

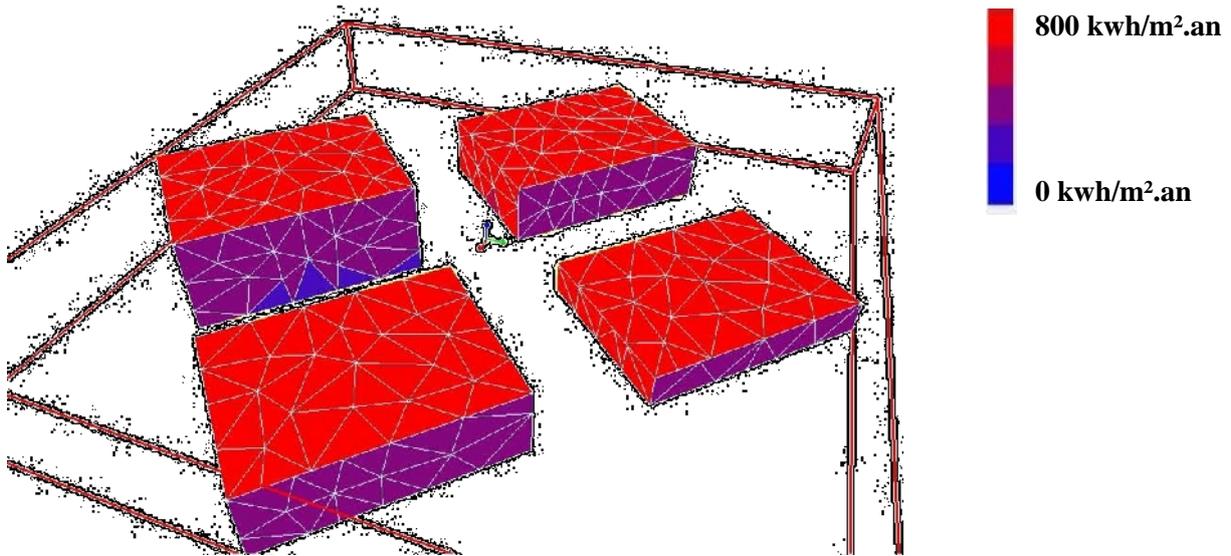


Figure VIII.10: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration dense. Source : Auteur.

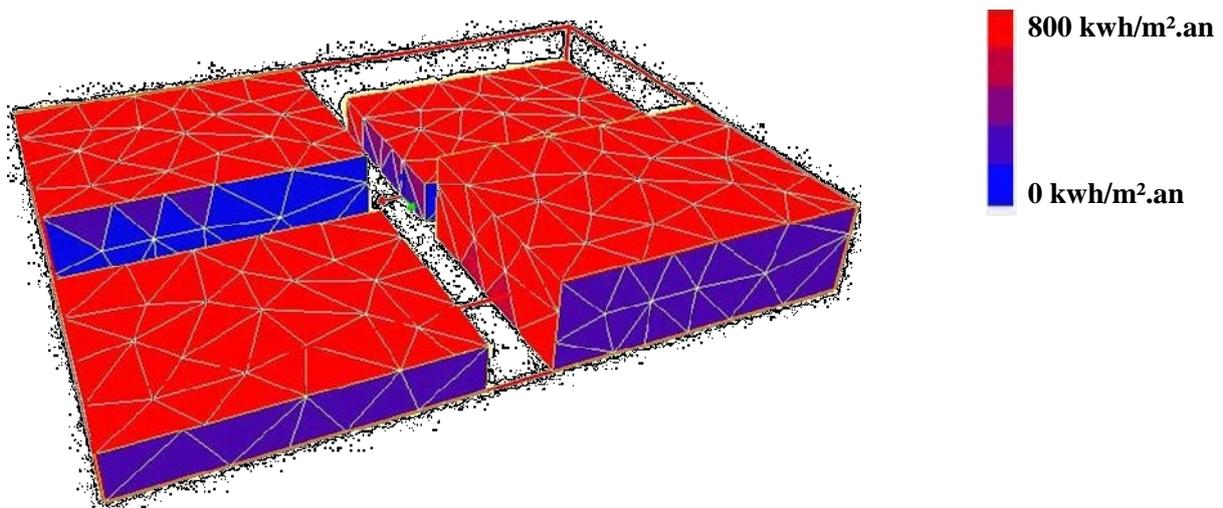


Figure VIII.11: Visualisation des résultats des applications solaires photovoltaïques des façades de la configuration très dense. Source : Auteur.

2.3.2.2.3. Les systèmes solaires passifs

A l'opposé des autres applications ; les variations les moins importantes sont mentionnées au niveau du système passif atteignant leurs maximum pour les différents cas ; à l'exception de la configuration très dense qui enregistre une valeur plus basse à comparer aux deux autres configurations urbaines d'un pourcentage qui ne dépasse pas les 9%. (Négligeable).

La visualisation de ces résultats est démontrée sur les figures VIII.12, VIII.13 et VIII.14.

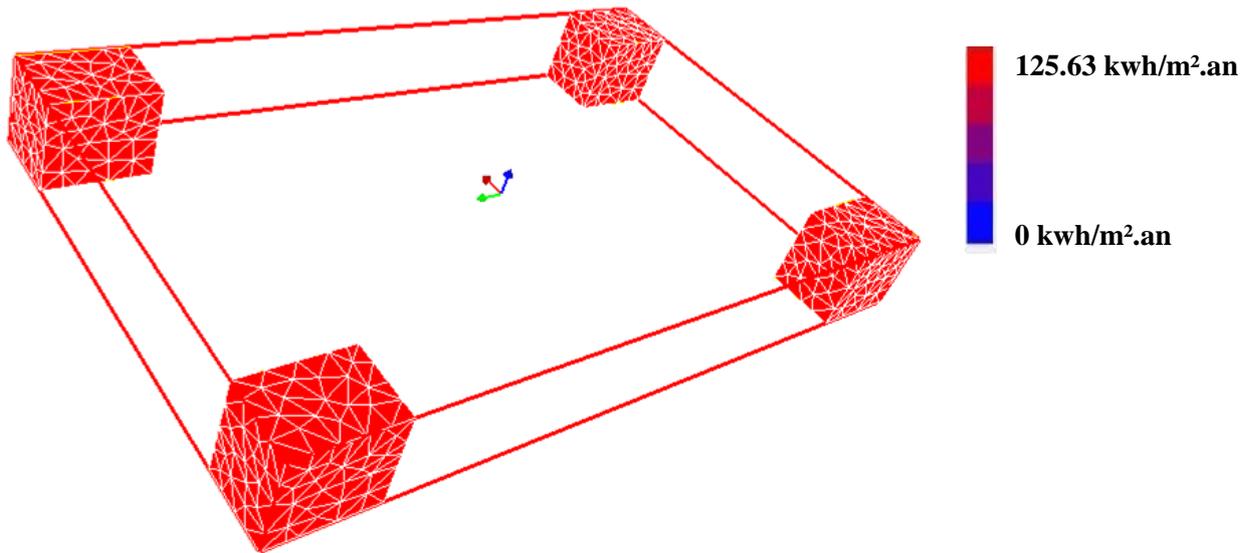


Figure VIII.12: Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration lâche. Source : Auteur.

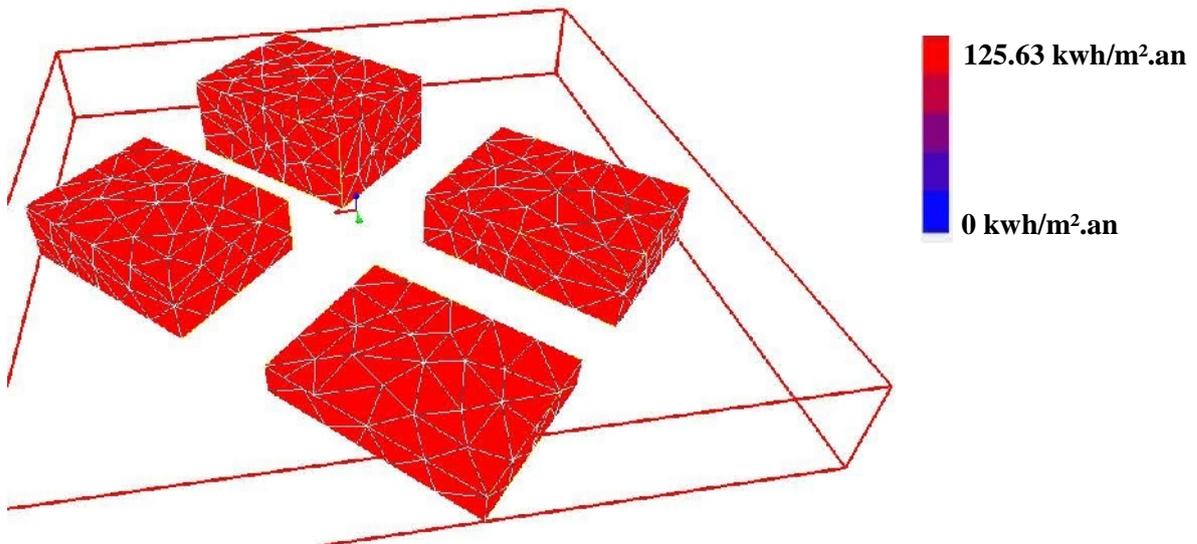


Figure VIII.13 : Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration dense. Source : Auteur.

Les parois verticales (façades) des trois cas sont en couleur rouge c'est-à-dire ont des valeurs d'énergie solaire incidente sur l'enveloppe bâtie dépassent celle du seuil ; à l'exception de quelques triangles sur la configuration très dense qui sont en couleur bleue ce qui indique une valeur basse à celle du seuil ; causée par l'effet d'obstruction de la façade.

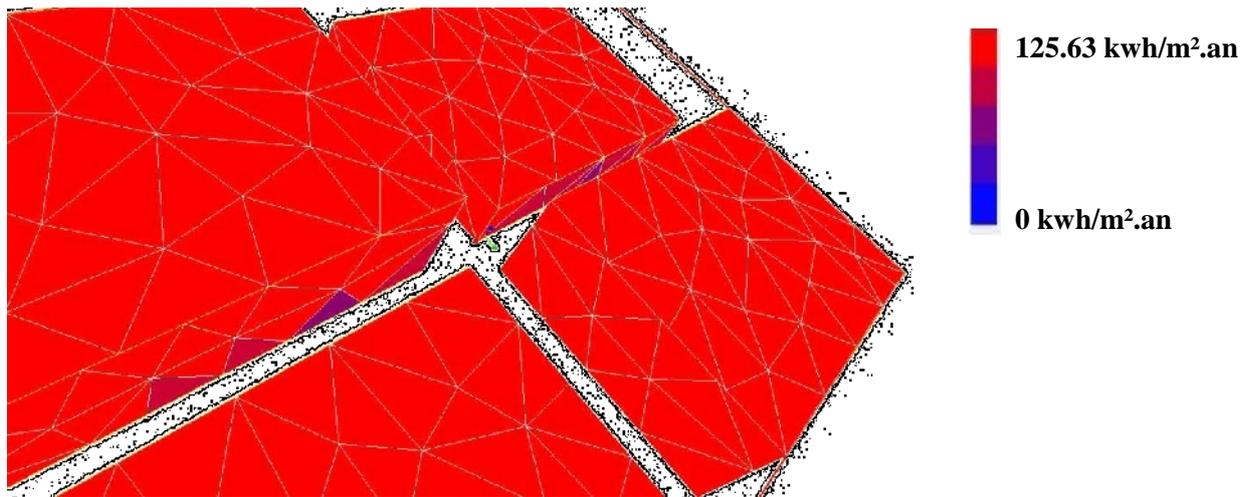


Figure VIII.14: Visualisation des résultats du solaire passif de la configuration très dense. Source : Auteur.

La viabilité des enveloppes bâties pour les différentes configurations urbaines dépend de la quantité de l'énergie solaire reçue par cette dernière et du coup du rayonnement reçu.

Les surfaces des façades qui ne reçoivent pas l'énergie solaire sont les portions de l'enveloppe bâtie qui ne sont pas exposées au rayonnement solaire (ne reçoivent pas le rayonnement solaire) ce qui minimise la quantité d'énergie reçue par l'enveloppe bâtie. Et par conséquent plus la surface de l'enveloppe exposée au rayonnement solaire est importante plus la quantité d'énergie solaire reçue est aussi importante.

On peut dire que la quantité de l'énergie solaire est variable selon la densité bâtie ; ce qui confirme notre hypothèse, et du coup les configurations urbaines influent sur l'exploitation du gisement solaire.

Une corrélation négative est bien illustrée par cette investigation entre le gisement solaire et la quantité de l'énergie solaire reçue sur les façades ; plus la densité est importante moins est la quantité de l'énergie solaire incidente sur l'enveloppe bâtie ; ce qui influe négativement aussi sur l'exploitation de ce gisement par les différentes applications des systèmes solaires : passifs ; actifs et photovoltaïques.

Les résultats de la présente étude des trois configurations de différente densité urbaine confirment que la surface utilisable pour l'énergie solaire est suffisante.

CONCLUSION

Dans ce chapitre on a étudié les performances solaires des configurations urbaines à partir des modèles idéalisés représentatifs de densités urbaines variées de la ville de Biskra.

Les résultats de l'estimation de l'énergie solaire globale cumulée incidente au milieu urbain- cas de notre étude- nous ont permis d'évaluer la viabilité des applications pour les différents systèmes solaires (passifs et actifs). On a confirmé aussi que l'accroissement de la densité urbaine mènera à une détérioration de l'environnement immédiat à l'égard de l'accès solaire.

Ils est clair à travers l'évaluation du gisement solaire de la ville de Biskra par les modèles 3D idéalisés que l'énergie solaire incidente est variable quantitativement sur les toitures et les façades de l'enveloppe bâtie, où ce dernier varie considérablement d'une configuration urbaine à une autre.

Ces résultats nous ont démontré qu'une bonne partie de la surface de l'enveloppe bâtie tire un maximum de profit de l'irradiation solaire annuelle à laquelle est exposée, appropriée aux applications solaires. Aussi que la surface d'enveloppe bâtie exposé au rayonnement solaire influe négativement sur la quantité d'énergie solaire reçue par cette dernière.

Il est nécessaire aussi de mentionner que les résultats obtenus affirment qu'en plus de l'effet de la densité urbaine des configurations, l'orientation de ces derniers affecte aussi la quantité du rayonnement solaire et par la suite l'exploitation du gisement des différents systèmes d'applications solaires.

Un tissu lâche dans un climat chaud et sec garanti une bonne exploitation du gisement solaire et une bonne application des systèmes solaires notamment sur les toitures qui assurent une viabilité maximale pour une variation des hauteurs des constructions qui n'est pas assez importante dans un même quartier où les effets des obstructions deviennent négligeables. De même la densité élevée a exprimé un pourcentage significatif pour les différentes applications solaires.

CONCLUSION GENERALE

INTRODUCTION

Cette recherche peut se résumer essentiellement en une tentative d'enrichissement du discours du développement durable, et d'élargir le débat sur les configurations urbaines dans les régions arides et semi-arides.

Dans le but d'atténuer l'empreinte de l'homme sur son environnement urbain par les émissions des gaz à effet de serre ; cette évaluation du gisement dans une région pareille vise à réfléchir à l'intégration des applications des différents systèmes solaires dans le milieu urbain ; ainsi qu'à minimiser les recours à l'énergie non renouvelable.

A l'aboutissement de ce travail on propose dans cette dernière partie les limites, une conclusion générale tenant compte des résultats de cette recherche ainsi que les principales perspectives qui pourraient faire suite à cette étude.

1. CONCLUSION

Le monde devient de plus en plus urbain, les questions concernant la forme, la taille, la densité de la ville sont devenues de plus en plus complexes et politisées. Cette aube urbaine, tout en présentant de nombreux problèmes, offre également une occasion unique pour les modèles de développement plus durable grâce à un recalibrage de la relation entre la prospérité économique, l'équité sociale, efficacité des ressources et de protection de l'environnement.

Ce développement des villes exerce une influence prépondérante sur les consommations énergétiques non renouvelables du parc immobilier, les ménages consomment une énorme quantité d'énergie, pour leurs besoins domestiques. Mais en modifiant son comportement ou ses choix d'investissements, chacun d'entre nous possède une vraie marge de manœuvre pour réduire sa consommation d'énergie. Ces consommations énergétiques ne sont pas sans effets sur notre environnement.

A l'encontre, de nombreuses énergies non polluantes, autrement dit renouvelables pourraient pourtant être exploitées par l'homme et dans tous les domaines. Entre autre on distingue l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique, l'énergie solaire

Cette dernière paraît la plus rentable, la moins polluante et la moins coûteuse grâce aux technologies d'exploitation, elle est disponible partout sur la surface du globe et en quantité égale durant toute l'année. Elle est aussi la plus facile à exploiter, elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir c'est ce qui nous a poussé à l'étudier en détail et chercher une façon pour mieux l'exploiter en tant que potentiel sans être exposé à ses effets néfastes.

Nous rappelons que l'objectif principal de cette investigation est de démontrer par le biais de la simulation numérique était une contribution au débat du développement durable en évaluant l'effet des configurations urbaines présentant des niveaux de densités urbaines variées sur l'exploitation du gisement solaire d'une ville appartenant aux régions arides à climat chaud et sec ; cas de la ville de Biskra ; afin de démontrer que la configuration urbaine peut modifier l'ensoleillement et la quantité d'énergie solaire incidente localement en accentuant ou en banalisant son incidence .

On se trouve dans une région saharienne à climat chaud et sec ; la période estivale figure la plus longue durant l'année (presque 6 mois, la moitié de l'année) ou l'énergie solaire présente un gisement énorme dans ce cas. Son exploitation dans un contexte urbain exige une adaptation aux différentes caractéristiques que présente la morphologie urbaine et qui forme parfois des obstacles face au rayonnement solaire incident.

A ce moment-là il devient primordial de prêter de plus en plus d'attention à la relation entre les bâtiments et leur environnement proche et cela par les urbanistes les planificateurs et ainsi que les architectes.

L'état de l'art a ainsi permis de détailler le rapport entre la configuration urbaine et l'irradiation solaire incidente au milieu urbain. L'étude de ce rapport a nécessité deux phases d'intervention. La première étape s'est focalisée sur l'identification des différents indicateurs caractérisant la configuration urbaine ayant un impact direct et important sur l'incidence du rayonnement solaire au sein du tissu urbain. Ensuite, une analyse typologique de tissus urbains caractérisant la ville de Biskra-cas de notre étude- nous a permis de distinguer les configurations urbaines les plus représentatives. Trois principales configurations distinctes ont été identifiées ; très dense, dense et lâche ; par le biais d'une analyse de l'évolution du tissu urbain de la ville et en se basant sur la littérature, en établissant le lien entre le contexte historique, la forme urbaine et architecturale. C'est ainsi, qu'on a pu analyser l'impact des différentes configurations de tissus urbains sélectionnés auparavant sur l'exploitation du gisement solaire. En effet, cela, a fait toujours l'objet de débats et des chercheurs, aménageurs et urbanistes. Cette première phase de l'analyse bibliographique a souligné l'impact important des configurations urbaines sur l'incidence solaire au milieu urbain, ce qui nous a permis de bien comprendre la dépendance de l'exploitation du gisement solaire aux caractéristiques des configurations urbaines.

Dans un autre angle de cette analyse bibliographique, l'étude la densité urbaine a fait le concept clé de cette étude, et a été précisé afin d'éclaircir sa définition et son histoire ; et le plus important était de l'explorer d'une nouvelle manière à l'aide d'un outil qui nous a permis de mieux comprendre les caractéristiques de la configuration urbaine en détaillant bien ses caractéristique et la relation entre la forme bâtie et la densité physique.

La densité est un sujet sur lequel peu de recherches fondamentales ont été réalisées. Les densités bâties varient entre établissements ruraux spacieuses ; les techniques de mesure utilisées pour décrire ces situations ont varié au fil du temps et même à l'heure actuelle ; beaucoup de confusion quant à la méthode doit être utilisée. Outre la nécessité de définir clairement une méthode, une enquête sur la relation entre la densité et la forme bâtie pourrait s'avérer productive à la fois à l'urbanisme en tant que discipline académique et à la pratique de la planification et de la conception. La méthode *SpaceMate* décrit dans les travaux de *Meta Berghäuser-Pont & Per Haupt (2005 ; 2009 ; 2010)* a fourni une technique de mesure cohérente et révèle un lien entre les densités et les typologies d'aménagement du territoire, l'environnement urbain, et l'espace non bâti.

Pour évaluer le gisement solaire à l'aide du logiciel thermo-radiatif (le Code *SOLENE* développé par le laboratoire CERMA) un modèle 3D a été construit sur la base des caractéristiques des configurations urbaines choisies précédemment par le logiciel *Google SketchUp8* ; représentant les trois catégories des densités urbaines prédéfinies.

Le post traitement des résultats de sortie a été effectué faisant recours au calculateur *Excel 2010*. La prise en compte de la végétation et les caractéristiques des matériaux de constructions ainsi que les paramètres géométriques décrivant la forme urbaine est délaissée pour de futurs travaux de recherche.

L'estimation quantitative de l'énergie solaire incidente a été associée à celle des densités urbaines afin de comparer les trois configurations et déceler la relation et le rapport entre la densité et l'énergie solaire dans des conditions spécifiques d'un climat chaud et sec.

La densité urbaine comme indicateur clé de cette étude a démontré son influence sur l'exploitation du gisement solaire et l'intégration des applications des systèmes solaires au sein du milieu urbain.

Ainsi, deux indicateurs quantitatifs présentent une influence notable sur l'exploitation du gisement solaire: le COS et CES. En revanche, la hauteur des bâtiments n'a pas d'impact significatif sur l'exploitation de l'énergie solaire quand elle n'est pas assez importante au sein d'une même configuration urbaine.

L'analyse comparative entre les trois configurations urbaines a démontré que la configuration lâche assure la meilleure exploitation de ce gisement ainsi que la meilleure viabilité des applications des systèmes solaires. Les résultats montrent qu'il est important de prendre en considération l'effet de l'orientation de la configuration urbaine.

Ces résultats ne sont pas encore affinés en particulier les irradiances solaires et leurs dépendances aux orientations ainsi qu'aux coefficients de réflexions des textures extérieures de l'enveloppe bâtie.

On peut dire que cette recherche est considérée comme une simple tentative de contribution au débat de développement durable et plus précisément à une meilleure exploitation des énergies renouvelables. Le but de ce projet est de promouvoir une architecture urbaine respectueuse du développement urbain durable, permettant une meilleure utilisation directe de l'énergie solaire au milieu urbain.

Ses résultats ont prouvé que la relation entre les configurations urbaines et l'irradiation solaire est étroite. Les meilleurs modes de captage dans cette étude représentent la

configuration urbaine la plus optimale qui profite le plus de rayons solaires directs exploitables.

Dans un contexte urbain à conditions spécifiques, cas des zones arides et semi-aride, où l'énergie solaire est une ressource quasiment illimitée et sans effets néfaste sur l'environnement ; le choix de la configuration urbaine la plus appropriée reste un point culminant, le tissu urbain compact offre des opportunités du point de vue thermique, socioculturelle, d'un autre coté le tissu urbain lâche a l'avantage d'une meilleure exploitation du gisement solaire ; de ce fait en temps que architecte il serait indispensable de développer une configuration qui associait les aspects des deux configuration et qui pourra répondre à leurs multiples avantages.

Il sera très intéressant de prendre en considération ces résultats pour l'application dans la pratique urbaine et d'en améliorer la qualité urbaine.

2. LES LIMITES DE RECHERCHE

Les limites de ce travail de recherche peuvent être cernées sur les éléments suivants :

✓ La principale limitation de cette méthode est qu'elle ne tient pas compte de risque de surchauffe associé à la période estivale pour une région à climat spécifique des rayons solaires incidents sur les façades urbaines qui peuvent altérer le confort extérieur comme celui intérieur.

✓ L'énergie solaire globale est prise comme la somme de l'énergie directe et énergie diffusée ; tandis que l'énergie solaire après réflexion soit pour l'enveloppe bâtie n'a pas été prise en considération.

✓ La présente recherche s'est appuyée essentiellement sur l'estimation du gisement solaire uniquement de deux saisons extrêmes : la saison estivale et la saison hivernale, ce qui ne donne pas des valeurs précises des variations annuelles et ne reflète pas la réalité et cela peut fausser les estimations.

✓ Les effets possibles des espaces verts ne sont pas considérés, il est reconnu que la végétation a un effet d'absorption des rayons solaires et ce qui peut minimiser la quantité d'énergie incidente, cela aussi peut engendrer des modifications des estimations élaborées.

✓ Les facteurs non-morphologiques ayant une incidence sur le rayonnement solaire, comme la réflectivité des surfaces ; les détails de la façade, l'âge du bâtiment ne sont pas pris en considération.

✓ L'unification des matériaux de construction pour les trois prototypes des configurations urbaines étudiés peut conduire à de fausses estimations.

✓ L'outil *SpaceMate* n'a pas été exploré dans ces différentes dimensions et les possibilités qu'il peut offrir par manque de documentations et d'expériences effectuées à l'aide de ce graphe.

3. LES PISTES DE RECHERCHE A DEVELOPPER

A partir des limites de cette investigation, plusieurs axes de recherches sont proposés afin d'aboutir à une meilleure exploitation du gisement solaire dans les zones à conditions climatiques spécifiques afin de minimiser les émissions de gaz à effets de serre.

3.1. L'élargissement du champ de l'étude et la prise en compte d'autres caractéristiques et de paramètres en considération

L'étude comparative de ce travail s'est focalisée sur la densité urbaine de trois configurations représentatives du tissu de la ville. Il serait intéressant d'élargir cette étude à prendre en considération plus de paramètres et de caractéristiques en considération dans l'étude, afin de mieux comprendre les particularités de chaque paramètre et ses impacts sur l'exploitation du gisement solaire ; à savoir :

- ✓ L'orientation du tissu urbain
- ✓ Les caractéristiques des matériaux de construction
- ✓ La variation des paramètres géométriques
- ✓ La prise en compte de la végétation

3.2. L'optimisation de l'exploitation du gisement solaire vis-à-vis du confort thermique dans le climat saharien

Dans la présente étude la prise en compte du confort extérieur ou même intérieur dans un tel climat spécifique n'a pas été pris en considération ; il convient de l'intégrer dans les futures études tout en minimisant l'irradiation sur les façades verticales et de maximiser sur les toitures des bâtiments, dans le but de réduire les apports solaires sur les façades, cause de surchauffe à l'intérieur des bâtiments et en même temps d'améliorer le potentiel de production de l'énergie solaire sur leurs toitures, ceci va nous aider à optimiser la configuration urbaine dans un climat aride et semi-aride.

3.3. Le paysage urbain face aux systèmes solaires actifs

L'intégration des systèmes solaires actifs que ce soit thermique ou PV dans une région aride et semi-aride autrement dit un contexte Saharien va modifier le paysage urbain dans une telle région et ce qui peut altérer ce dernier donc il sera nécessaire de prendre en considération ses effets.

3.4. Les outils d'aide à la décision

L'indisponibilité de l'outil PPF Radiance nous a orienté vers une autre alternative pour l'application de cette méthode ; il sera très intéressant d'effectuer l'évaluation de ces mêmes prototypes par cet outil afin d'accomplir la méthode.

Le développement des outils de simulation et d'évaluation du gisement solaire peut nous orienter à élaborer la même étude par d'autre méthodologie qui la guide vers d'autres outils d'aide à la décision ainsi que d'autres procédures tels que les systèmes d'informations géographiques qui connaissent un essor considérable dans le domaine énergétique.

3.5. La réduction des temps de calcul

A l'heure actuelle, des simulations représentatives d'une année entière n'est pas envisageable avec un tel outil de calcul. Des améliorations de la méthodologie et une augmentation de la capacité de calcul des ordinateurs sont nécessaires pour tenter de diminuer les temps de calcul.

3.6. Elargir l'utilisation de la méthode SpaceMate

La méthode qu'offre l'outil *SpaceMate* permet l'étude à différentes échelles urbaines afin de mieux examiner la configuration urbaine avec plus de précision et plus d'affinité ; ainsi que l'étude des performances à l'échelle urbaine et ce qui peut être abordé dans de futures études.

BIBLIOGRAPHIE

LES ARTICLES

- A. Chow, A. S. Fung & Li. Songnian «*GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution*». Buildings, ISSN 2075-5309. Avril 2014.
- A. Cunha. & al, « *Densité, centralité et qualité urbaine : la notion d'intensité, outil pour une gestion adaptative des formes urbaines ?* ». Les cahiers du développement urbain durable, Intensités urbaines N°9. décembre2009. Pp 13-56.
- A. Lagaris, « *Urban sprawl simulation linking macro-scale processes to micro-dynamics through cellular automata, an application in Thessaloniki, Grece*». Applied Geography, vol. 34, pp. 146-160, 2012.
- A. Miguel, & F.Poggi, «*Solar Urban Planning: a parametric approach*». SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry ; Freiburg, Germany. September 23-25, (2013),
- C. Emelianoff. «*La ville compacte. Les villes allemandes traduisent souvent le concept de ville durable par celui de ville compacte, ou «à courtes distances».*» 2001. URL : [<http://base.d-p-h.info/fr/fiches/dph/fiche-dph-8465.html>].
- C. Ratti, & al. «*Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate*». Energy and Buildings. N°35.Pp 49-59. 2003.
- D. Cadoux. «*Appréhender la densité : entre réalités et perceptions...: Elément de réflexion sur une notion d'actualité complexe*». Université de Montréal. Automne 2008. URL:[<http://fr.scribd.com/doc/8831183/Apprehender-la-densite-entre-realite-et-perception-M2-2008#scribd>]
- D. Robinson, «*Urban morphology and indicators of radiation availability*». Solar Energy. N°80. Pp 1643-1648. 2006.
- D. Siret & al, «*Introduction à une histoire du soleil dans la ville* ». La ville durable au risque de l'histoire Paris, Ed. Jean-Michel Place, ENSA Lille, 2006.
- D. Siret. «*Rayonnement solaire et environnement urbain : de l'héliotropisme au désenchantement, histoire et enjeux d'une relation complexe*». Développement durable et Territoires Vol. 4, n°2. Juillet, 2013.
- E. Holden, «*Ecological footprints and sustainable urban form*». Journal of Housing and the Built Environment. V n° 19. Pp 91-109. Mars 2004.
- F. Miguet & B.Paule. « *Soleil et architecture Potentiel climatique*». C 3 310V°2.

- F. Miguet. «*Further step in environment and bioclimatic analysis: the software tool Solene*». Building Simulation. 2007.
- G. Desthieux & al. «*Analyse de potentiel solaire sur les toitures en vue d'installations PV application sur une zone commerciale à Grancia / tI*». *Technologie neue Kraftwerk*. Bulletin Novembre (2014).
- G. Lobaccaro, & F. Frontinib. «*Solar energy in urban environment: how urban densification affects existing buildings*». SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Freiburg, Germany. Energy Procedia 48. Pp (1559 – 1569). 23-25 September, 2013
- G. Simmel, «*The metropolis and mental life*». In *The sociology of Georg Simmel*, edited by K. Wolff. Glencoe, IL: Free Press. 1950.
- H-H., Rogner, & al. «*Introduction, in Climate Change 2007: Mitigation*». Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. Pp 95–116. 2007.
- J. Arnfield & G. Mills, “An analysis of the circulation characteristics and energy budget of a dry, asymmetric, east-west urban canyon. II. Energy budget,” *International Journal of Climatology*, vol. 14, pp.239-261, 1994.
- J. Chung, & al. «*Solar radiation performance evaluation for high density urban forms in the tropical context*». Proceedings of Building Simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, Pp 2595-2602, 14-16 November 2011.
- J. Stromann-Andersen, & P.A. Sattrup. «*The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains*». *Energy and buildings* N°. 43 (2011): 2011–2020.
- J. Mardaljevic, & M. Rylatt, «*Irradiation mapping of complex urban environments: an image-based approach*». *Energy and Buildings*. N3°5. Pp 27-35. 2003.
- Jean-Louis IZARD. «*Soleil et architecture. Contrôle d'ensoleillement par formes architecturales*». ENSA-Marseille.
- Jean-Louis Scartezzini & al. «*Optimisation du potentiel d'utilisation de l'énergie solaire en milieu urbain* ». SOLURBAN. Programme Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments. EPF Lausanne. Rapport annuel 2001. Pp 2.
- Ji Zhang, & al. «*Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure*». *Automation in construction* N°. 22 (2012); Pp 90–101.

- Joël Le Gall, «*Les Romains et l'orientation solaire*»; Mélanges de l'Ecole française de Rome. Antiquité, tome 87, n°1. pp. 287-320. 1975. généré le 16/10/2015.
- K. Hamel, S. Mazouz. «*The compact city: an urban shape for sustainable city, in arid areas*». Department of architecture, University of Biskra, B.P 145, Biskra, Algeria. Pp10. 2005.
- K. Steemers, «*Energy and the city: density, buildings and transport*». *Energy and Buildings*. N°35. Pp 3-14. 2003.
- K. Syrios & G. R. Hunt, «*Passive air exchanges between building and urban canyon via openings in a single façade*», International Journal of Heat and Fluid Flow, vol.29, pp. 364–373, 2008.
- Koen Steemers. «*Energy and the city: density, buildings and transport*». Energy and buildings no. 35 (2003): 3–14.
- L. Martin. «*Architects' approach to architecture*». RIBA Journal. 74. 5. 1967. Pp191–200.
- L. Shashua-Bara & M. E. Hoffman, «*Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees*», Energy and Buildings, vol. 35, pp. 61–68, 2003.
- L. Sriti & al. «*évolution des modèles d'habitat et appropriation de l'espace ; le cas de l'architecture domestique dans les Ziban*». Courrier du Savoir – N°05, Juin 2004, pp. 23-30.
- L. Sriti & al. «*le damier colonial de Biskra ou l'histoire de la marginalisation d'un centre-ville*». Courrier du Savoir –N°02, Juin 2002, pp. 53-59.
- L. Wirth, «*Urbanism as a way of life*». *American Journal of Sociology* 44 (1). 1938.
- M. Arboit, & al. «*Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina*». 2nd. Part. Renewable Energy. N°35. 7. Pp 1733–1748. (Aout ; 2008).
- M. Berghäuser Pont & L. Marcus. «*Innovations in measuring density*». ISSUE N°2; 2014 p13.
- M. Berghäuser Pont & L. Marcus. «*Innovations in measuring density: form area and location density to asseccibile and perceived density*». Nordic journal of architectural research.issue. Fev 2014.
- M. Berghäuser Pont & P. Haupt. «*SpaceMate: a Multi-Variable Density Concept to Describe Typologies and Performances of Urban Fabrics*». Delft University of Technology. An inter-disciplinary conference. 6-8 June 2007. URL: [http://www.geos.ed.ac.uk/geography/a12_Berghauser.html].

- M. Levine, & al. «*Residential and commercial buildings, in Climate Change 2007: Mitigation*». Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. Pp 387–446. 2007.
- M. Montavon, & al. «*Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments*». PLEA -The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, the Netherlands, 19 – 22. Pp 6. September 2004.
- M. Neuman. «*The Compact City Fallacy*». Journal of Planning Education and Research. 11, December, 2014. Pp. 11-26.
- M. Sauchelli, G. Lobaccaro, et al. «*Smart Solutions for Solar Adaptive Façade Preliminary studies for an innovative shading device*». Proceedings of the XIX IAHS World Congress, Milan, Italy, September 2013.
- M. Y. Bounnah, «*Energie Solaire*». Cours Systèmes énergétiques. Chapitre II. P12.
- Martin & March. «*Espace urbain et Structures*». Cambridge University Press, Cambridge. 1972.
- Montavon & al. «*Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments*». InPlea2004 Proceedings. The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture. University of Technology, Eindhoven. Pp 19–22. (2004).
- N. Agli, «*Intervention sur le centre-ville de Biskra*». Mémoire de Fin d'Etudes. Ecole d'architecture Paris-Villemin. (1988).
- Nastaran Shishegar. «*Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons*». Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 1, No. 1, January 2013. Pp (52-56).
- O. Mindali, «*Urban density and energy consumption: a new look at old statistics*». Transportation Research Part A: Policy and Practice. N° 38. Pp 143-162. Octobre 2004.
- O. Bonin & L. Tomasoni «*Rendre la ville plus compacte : réflexion autour d'un scénario alternatif à l'augmentation des densités*». Université Paris-Est, IFSTTAR, LVMT, Marne-la-Vallée, France.
- P. A. Sattrup & J. Strømman-Andersen. «*Building typologies in northern European cities: daylight, solar access, and building energy use*». Journal of Architectural and Planning Research 30:1; 2013.
- P. E. Todhunter, «*Microclimatic Variations Attributable to Urban Canyon Asymmetry and Orientation*». Physics and Geography, vol. 11, Pp.131-141, 1990.

- P. Katz, «*The new urbanism: Toward an architecture of community*». New York: McGraw-Hill. 1994.
- P. Lombard, & al. «*A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings*». N°40. Pp 394-398. 2008.
- P. Steadman. «*Density and built form: integrating 'SpaceMate' with the work of Martin and March*». Environment and Planning B: Planning and Design, V° 40, Pp1-18, 2013.
- Philipp Rode & al. «*Cities and Energy: Urban Morphology and Heat Energy Demand*». Final Report; LSE Cities; the London School of Economics and Political Science. 2014.
- R. Compagnon, & al. «*Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments*». Plea2004-The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, the Netherlands, 19 – 22 September 2004. Pp 6.
- R. Compagnon, «*Solar and daylight availability in the urban fabric*». Energy and Buildings n°36. 2004. Pp (321–328).
- R. Darren & al. «*Solar Utilisation Potential of Urban Sites*». SOLURBAN Project. Programme de recherche Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments. Pp25. June 2005.
- R. Darren. «*Urban morphology and indicators of radiation availability*». Solar Energy and Building Physics Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland. Solar Energy 80. Pp 1643–1648. 2006.
- R. White & G. Engelen, «*High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems*». Computers, Environment and Urban Systems, vol. 24, pp. 323-343, 2000.
- R.W. Burchell, & A. O. Adelaja. «*Impact assessment of the New Jersey Interim State Development and Redevelopment Plan*». Trenton:New Jersey Office of State Planning.1992.
- R.W. Burchell, & al. «*The costs of sprawl—2000*». Washington, DC: National Academy Press. 2002.
- S. Bendimérad. «*La ville, entre densité, compacité et intensité*». Moniteur N° 5476 - Publié le 07/11/2008. URL: [<http://www.lemoniteur.fr/articles/la-ville-entre-densite-compacite-et-intensite-625239#>].
- S.L. Bellara & S. Abdou. «*Impact de l'orientation sur le confort thermique interieur dans l'habitation collective. Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli, Constantine*». Sciences & Technologie D – N°32, pp. 33-40, Décembre ; 2010.

- T. Oke, «*Street design and urban canopy layer climate*», *Energy and Buildings*, N° 11 Pp103–113; 1988.
- V. Cheng & al. «*Urban Form, Density and Solar Potential*».PLEA2006 - *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006*.
- Y. Nakamura & T. Oke, «*Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon*» *Atmospheric Environment*, vol. 22, pp. 2691-2700, 1988.
- Zine & Amina. «*Les ksour. L'espace Ksourien ou la mémoire en risque de péremption*». *Habitat Tradition Modernité (HTM)*, N°2, pp. 17-21, Juin 1994.

LES THESESES et LES MEMOIRES

- M. Colombert, «*Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*». Thèse de doctorat Génie urbain, Université Paris-Est, 2008.
- MARIE LAURE LAMY. «*Efficacité des politiques environnementales d'incitation à l'adoption de nouvelles techniques le cas des énergies renouvelables*». Thèse de doctorat GRENOBLE 2004
- M. Berghäuser PONT; P. Haupt. «*Space-density and Urban- Form*». Thèse de doctorat. TU l'université de technologie de Delft- Pays-Bas. 2009.
- N. Gauthier. «*Analyses morphologiques de formes urbaines et étude de l'impact des formes urbaines sur les gains énergétiques solaires*». PFE. INSA Strasbourg. Institut Européen de recherche sur l'énergie. Mars – Août 2014. Pp53.
- Tathiane Agra DE Lemos Martins. «*Des contraintes solaires à des opportunités de dessin urbain : Optimisation de typo-morphologies urbaines en climat tropical au Brésil*». thèse de doctorat. INSA de Toulouse. Mars 2014.
- V. Foucher. «*La densité est-elle un indicateur pour le développement urbain durable ? le rapport entre mobilité et densité !* ». Thèse de doctorat. IFU, Laboratoire Théories des Mutations Urbaines. 1995.

OUVRAGES

- A. Hufty. «introduction à la CLIMATOLOGIE. Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine». Les presses de l'université LAVAL.2001.
- N. Baker, & K. Steemers, «*Energy and Environment in Architecture: a Technical Design Guide*». Spon, London. 2000.
- Laboratoire urbanisme pour les villes et régions: Progression des enjeux de la recherche en urbanisme 2007. Publié par MY Berghäuser-Pont, F. van der Hoeven, Jürgen Rosemann.
- L. Martin, & L. March, «*Urban space and structures*». Cambridge University Press, Cambridge. (1972).
- P.P.VAN & al .The urban decision room. An urban management instrument. Hoofdstuk 6. Vervolgopgaven voor het. Urban decision room systeem. Delft Unversity Press. p 71. 2008. [https://books.google.dz/books?id=-ylPxuH2CIC&pg=PT155&dq=spacemate+concept&hl=fr&sa=X&ei=awdFVbC_Eo_japvTgYgE&ved=0CBkQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false]
- Rey & al. *La Science des plans de villes*. 1928.
- R. L.Hulstron. «*Solar resources* ». The MIT press, Cambridge, Massachusetts, London; England. 1989. URL : [<https://books.google.dz/books?id=iERMhrsfpqEC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>]. (Consulté le 01/04/2016 à 12h00).
- ARENE. «*Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur*». Habitat et Société

AUTRE

- C. Whitehead. «*The Density Debate – A Personal View*». London School of Economics and Cambridge Centre for Housing and Planning Research. East Thames Housing Group
- CETE de Lyon. « étude de l'ensoleillement d'un site». Fiche Technique. Aménagement urbanisme habitat construction.
- De l'énergie solaire à l'énergie électrique. ENSISAR de Grenoble.
- DGESCO. «*La ville dense et durable : un modèle européen pour la ville ?* ». ENS de Lyon. Béatrice Bochet, Giuseppe Pini et Jean-Bernard Gay. Vues sur la ville - Observatoire universitaire de la ville et du développement durable - octobre 2002 et octobre 2003.

- IAURIF. « *Note rapide sur l'occupation du sol, Les indicateurs de densité* ». Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'île de France. N°=383. Juni 2005.
- IAURIF. « *Note rapide sur l'occupation du sol, Les repères historiques* ». Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'île de France. N°=382. Juni 2005
- ISSUE. « *Density: from area and location density to accessible and perceived density* ». Nordic Journal of architectural research. N°2. 2014.
- Les Cahiers de l'Oise. « *Ville durable, intensité et densité* ». Direction Départementale de l'Equipement de l'Oise. N° 106 – Avril 2008.
- M. Lefebvre, « *densité et formes urbaines : vers une meilleure qualité de vie* ». Les Cahiers Palladio. No 68. 2eme trimestre. 2014.
- www.explorateurs-energie.ch
- <http://radsite.lbl.gov/radiance/>
- <http://densityatlas.org/measuring/metrics.shtml>
- <http://fr.scribd.com/doc/8831183/Apprehender-la-densite-entre-realite-et-perception-M2-2008#scribd>
- <http://www.sigcours.com/fr/arcgis/generalites-sur-arcgis/46-qu-est-ce-que-sig.html>
- <http://seig.ensg.ign.fr/fichchap.php?NOFICHE=FP17&NOCONT=&NOCHEM=CHEMS005&NOLISTE=2&N=4&RPHP=&RCO=&RCH=&RF=&RPF=>
- <http://seig.ensg.ign.fr/sommllexi.php?RPHP=&RCO=&RCH=&RF=&RPF=&RPC=http://seig.ensg.ign.fr/sommllexi.php?RPHP=&RCO=&RCH=&RF=&RPF=&RPC=>
- <http://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/MNT.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=poFzniaKogU> riccardo.klinger@fu-berlin.de
- <http://translate.google.dz/translate?hl=fr&sl=pt&tl=fr&u=http%3A%2F%2Furbanidades.arq.br%2F2014%2F09%2Fspacemate-spacematrix-e-o-estudo-das-densidade-urbanas%2F>
- <http://www.aps.dz/regions/23116-ouargla-encourager-l%E2%80%99utilisation-de-l%E2%80%99%C3%A9nergie-solaire-dans-l%E2%80%99irrigation-agricole-au-sud>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/configuration/18091>
- http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/compact_compacte/17588
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Compacit%C3%A9>
- <http://www.energivie.info/page/cle-1-batiments-compacts-ouverts-au-soleil#compacite>
- <http://www.passivact.com/Infos/InfosConcepts/files/CompaciteBatiment-Consequences.html>

- http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/geometrie_solaire.html
- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759#02>
- [http://tenes.info/galerie/BISKRA/plan de la ville](http://tenes.info/galerie/BISKRA/plan_de_la_ville)
- <http://leesu.univ-paris-est.fr/>
- <http://urbanidades.arq.br/2007/12/taxa-de-ocupacao-e-coeficiente-de-aproveitamento/>
- [The Building Centre London. 24 January 2008.](#)
- <http://urbanidades.arq.br/2014/09/spacemate-spacematrix-e-o-estudo-das-densidade-urbanas/>
- <http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00530000008w000000/>
- [Fiche technique, énergie solaire, Approbation Gouvernement: 31.10.2006 / Parlement: 25.04.2007 / Conseil fédéral. Version du 25 avril 2007.](#)
- www2.unil.ch/observatoire-ville/ovdd5.htm

Les données climatiques du cas d'étude (latitude 34.83°) :

1. La trajectoire solaire :

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 4 janvier 2013

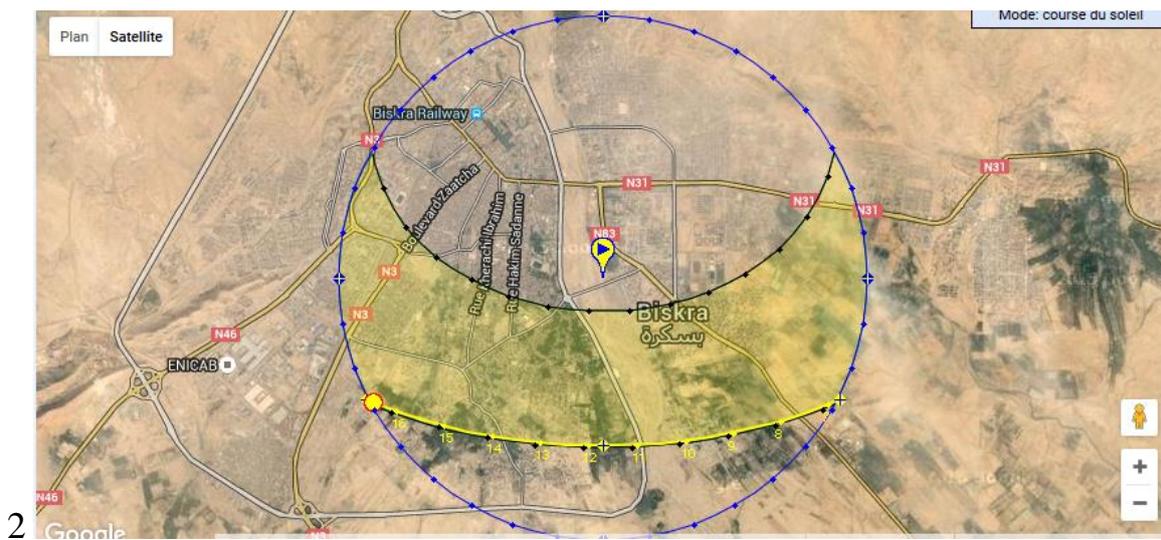
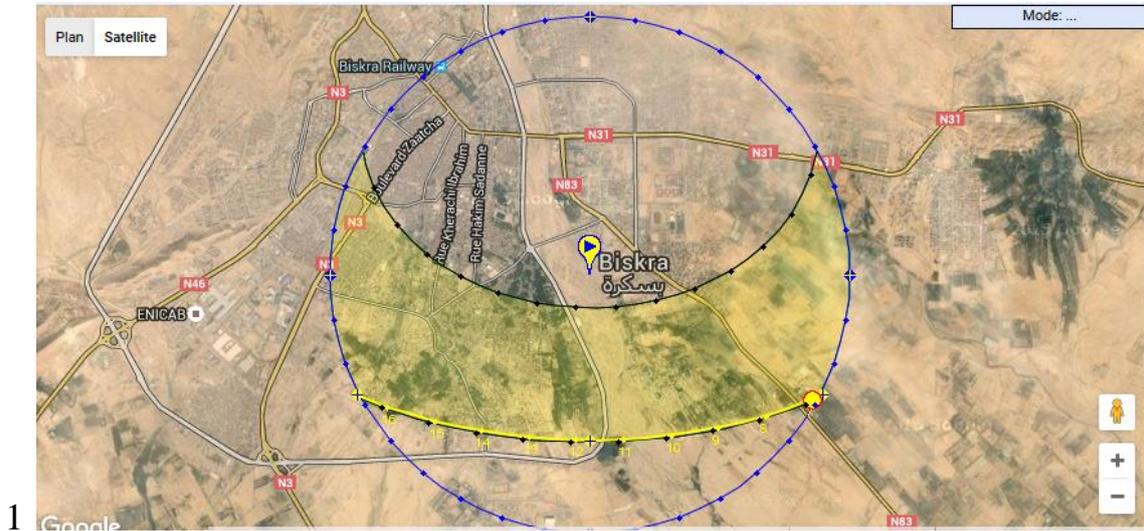


Figure 1 : Le tracé de la trajectoire solaire de la ville de Biskra, 1 le levé ; 2 le coucher . Source : URL : [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#dayLight], (consulté le 02/02/2016 à 22h)

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 11 juillet 2013

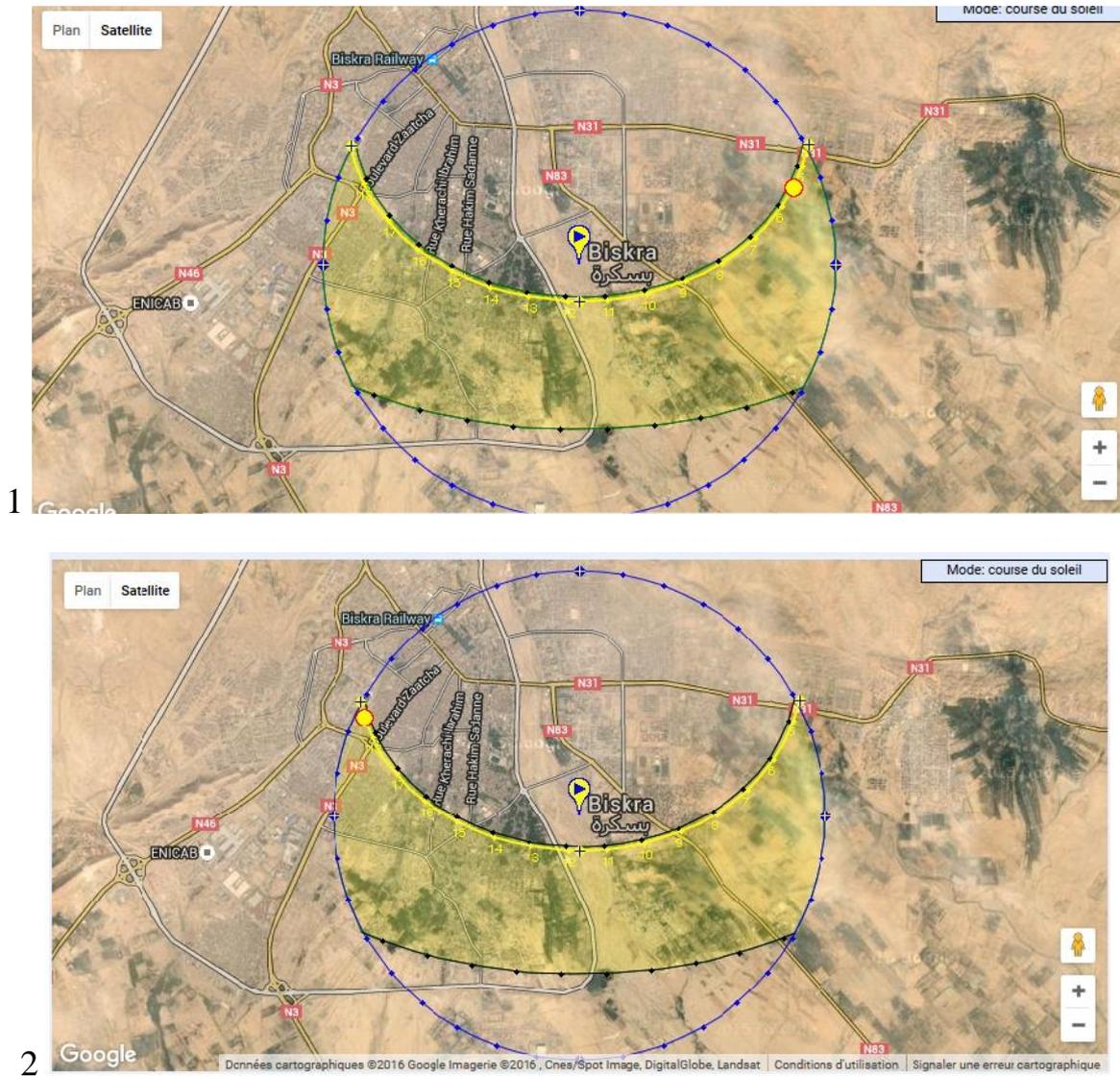


Figure 2: Le tracé de la trajectoire solaire de la ville de Biskra, 1 le levé ; 2 le coucher . Source : URL : [\[http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#dayLight\]](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#dayLight), (consulté le 02/02/2016 à 22h)

2. Projection équidistante horizontales

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 04 janvier 2013

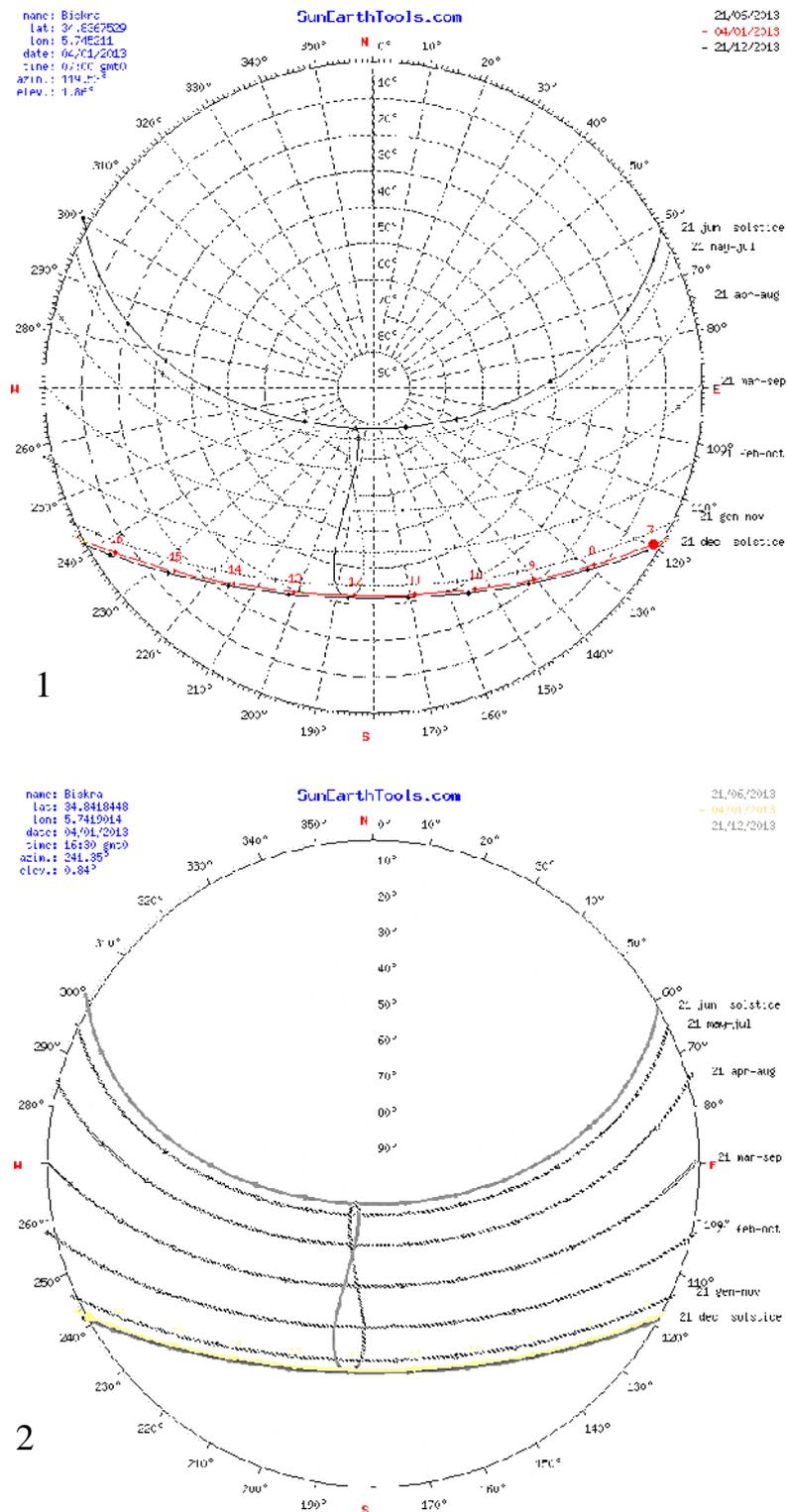


Figure 3: Le diagramme solaire, projection équidistante horizontale correspond à latitude de la ville de Biskra,

1 : le levé ; 2 le coucher du soleil. Source :URL :

[http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#dayLight] (consulté le 02/02/2016 à 22h).

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 11 juillet 2013

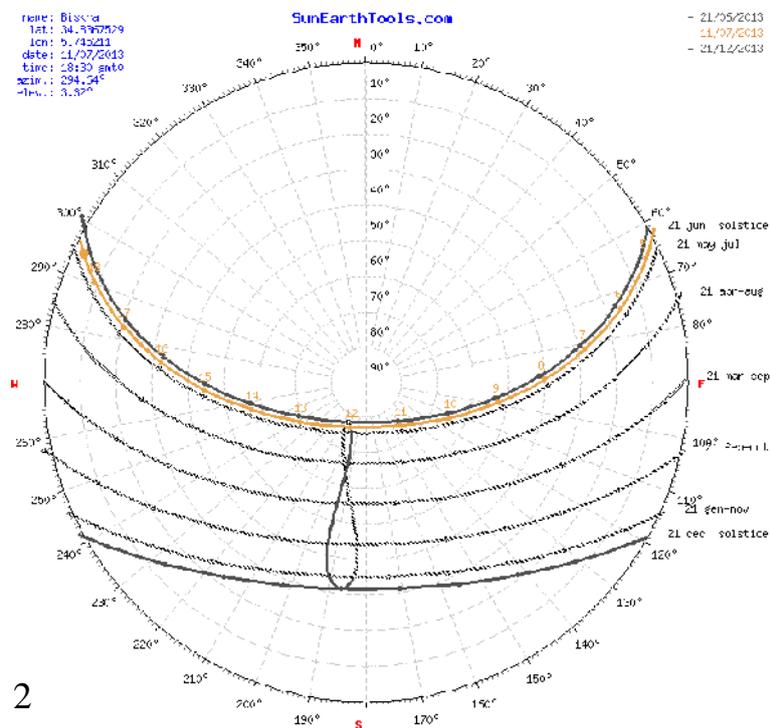
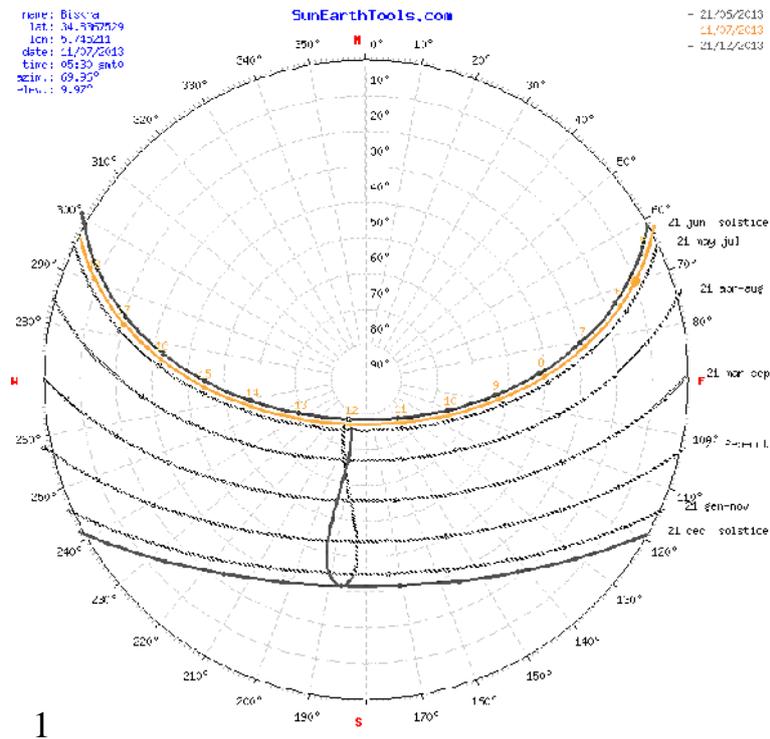


Figure 4: Le diagramme solaire, projection équidistante horizontale correspond à latitude de la ville de Biskra, 1 : le levé ; 2 le coucher du soleil. Source :URL : [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#dayLight] (consulté le 02/02/2016 à 22h).

3. Projection équidistante verticale

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 04 janvier 2013

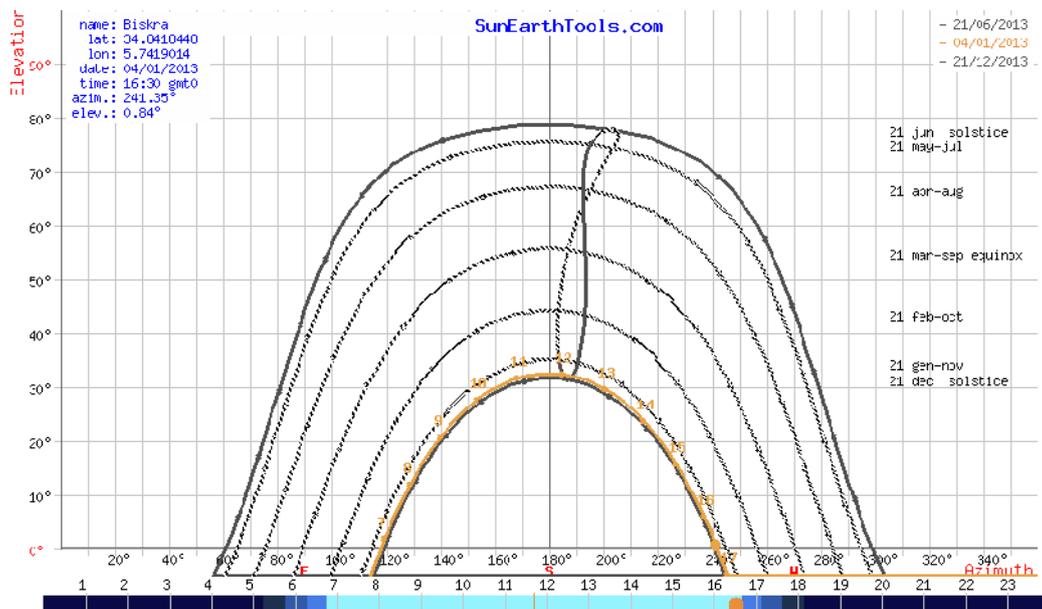
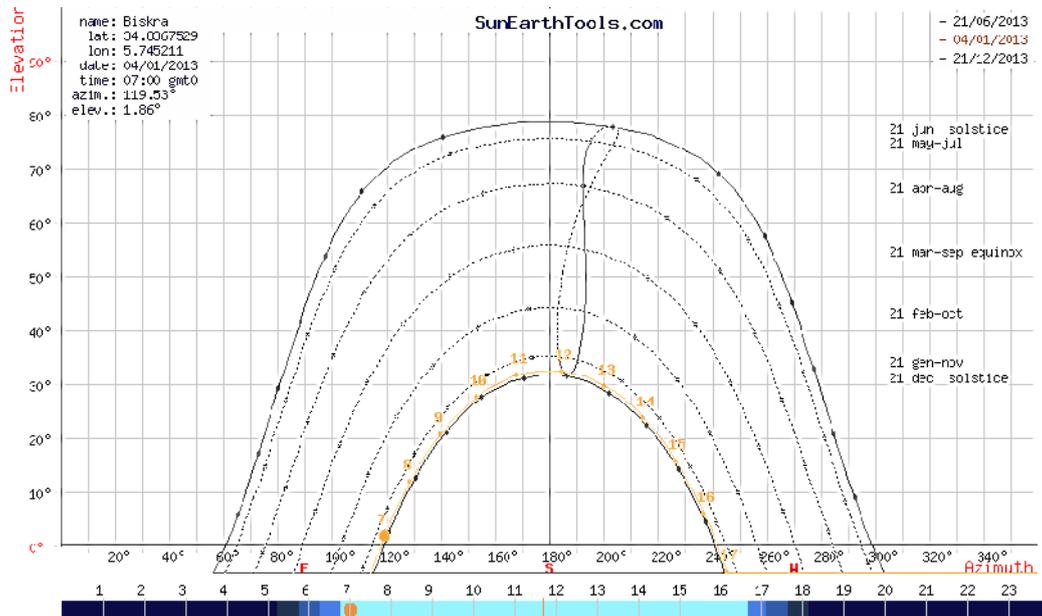


Figure 5: Le diagramme solaire, projection équidistante verticale correspond à latitude de la ville de Biskra.
Source : URL : [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr]. (Consulté le 02/02/2016 à 22h).

- le levé et le coucher du soleil de la journée représentative du 11 juillet 2013

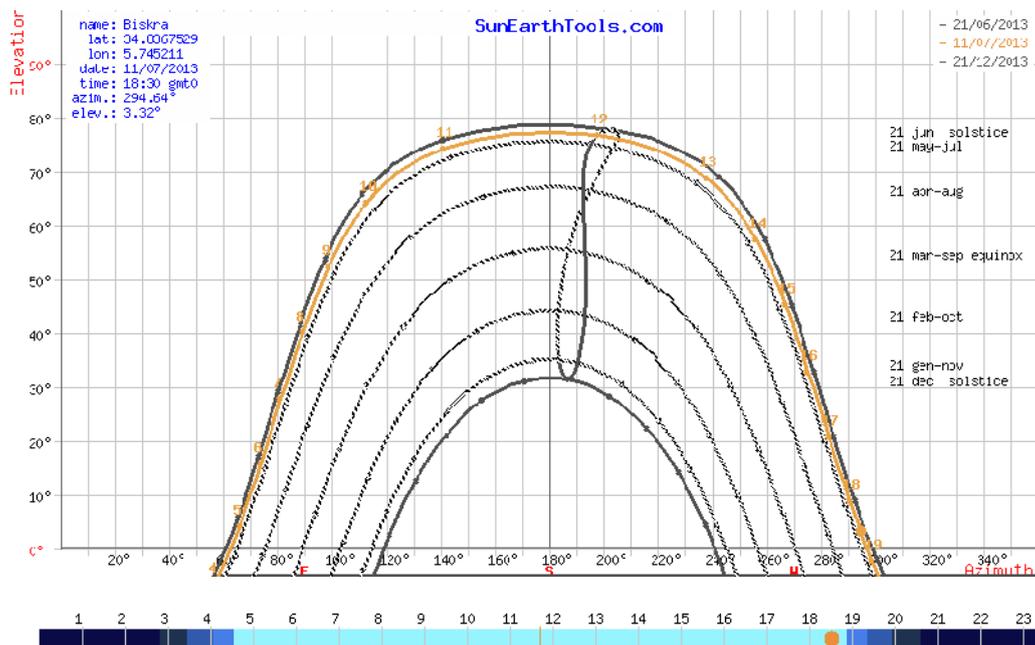
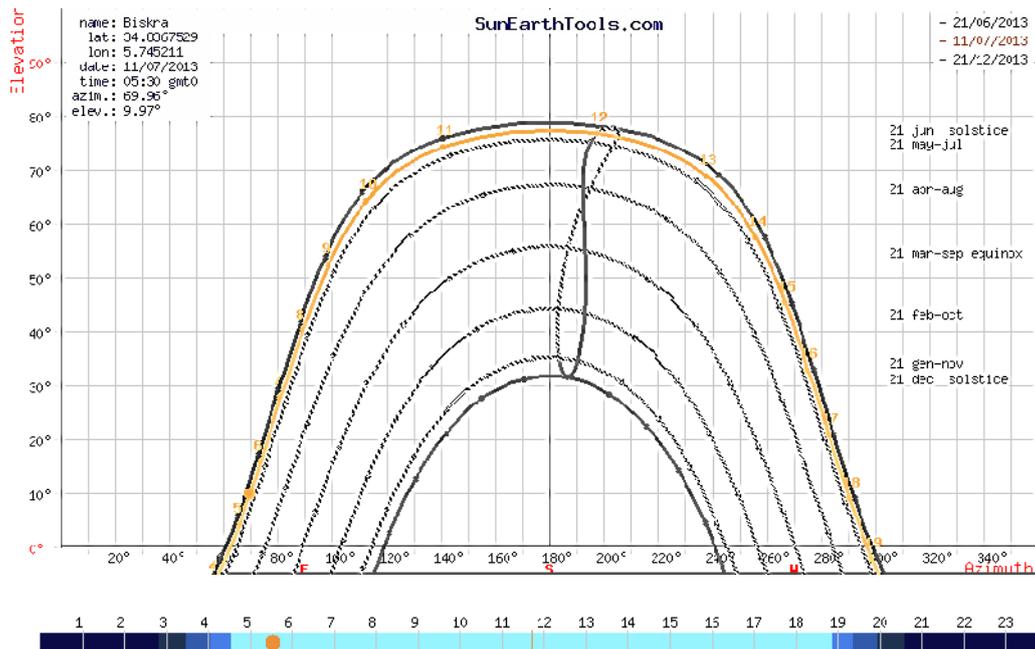


Figure 6: Le diagramme solaire, projection équidistante verticale correspond à latitude de la ville de Biskra.
 Source : URL : [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr]. (Consulté le 02/02/2016 à 22h).

L'exposition au rayonnement solaire :

position du soleil 	Elevation	Azmut	latitudes	longitudes
04/01/2013 07:00 GMT0	1.86°	119.53°	34.8367529° N	5.745211° E
crépuscule 	Sunrise	Sunset	Azmut Sunrise	Azmut Sunset
crépuscule -0.833°	06:45:05	16:39:14	117.38°	242.67°
Le crépuscule civil -6°	06:17:10	17:07:06	113.54°	246.51°
Le crépuscule nautique -12°	05:45:44	17:38:32	109.43°	250.63°
crépuscule astronomique -18°	05:15:04	18:09:12	105.56°	254.51°
jour 	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
04/01/2013	09:54:09	00:00:46	-00:00:41	11:42:09

Date:	04/01/2013 GMT0	
coordonner:	34.8367529, 5.745211	
emplacement:		
heure	Elevation	Azmut
06:45:05	-0.833°	117.38°
7:00:00	1.86°	119.53°
8:00:00	12.04°	128.97°
9:00:00	20.82°	140.12°
10:00:00	27.59°	153.36°
11:00:00	31.63°	168.59°
12:00:00	32.34°	184.89°
13:00:00	29.6°	200.72°
14:00:00	23.85°	214.82°
15:00:00	15.8°	226.79°
16:00:00	6.12°	236.87°
16:39:14	-0.833°	242.67°

position du soleil 	Elevation	Azmut	latitudes	longitudes
11/07/2013 05:30 GMT0	9.97°	69.96°	34.8367529° N	5.745211° E
crépuscule 	Sunrise	Sunset	Azmut Sunrise	Azmut Sunset
crépuscule -0.833°	04:32:20	18:52:32	62.08°	297.81°
Le crépuscule civil -6°	04:03:12	19:21:34	57.73°	302.14°
Le crépuscule nautique -12°	03:27:26	19:57:15	51.95°	307.91°
crépuscule astronomique -18°	02:48:21	20:36:12	44.92°	314.89°
jour 	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
11/07/2013	14:20:12	-00:00:57	00:00:55	11:42:26

Date:	11/07/2013 GMT0	
coordonner:	34.8367529, 5.745211	
emplacement:	Rue N 2, Biskra, Algérie	
heure	Elevation	Azmut
04:32:20	-0.833°	62.08°
5:00:00	4.26°	65.96°
6:00:00	15.81°	73.81°
7:00:00	27.83°	81.36°
8:00:00	40.08°	89.29°
9:00:00	52.35°	98.8°
10:00:00	64.19°	112.86°
11:00:00	74.17°	141.11°
12:00:00	76.65°	197.74°
13:00:00	68.77°	238.04°
14:00:00	57.4°	256.11°
15:00:00	45.23°	266.97°
16:00:00	32.93°	275.36°
17:00:00	20.78°	282.96°
18:00:00	9°	290.61°
18:52:32	-0.833°	297.81°

Tableau 1: le nombre d'heure d'ensoleillement des journées représentatives. Source : URL : http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr (consulté le 02/02/2016 à 22h)

degrés-jours :

	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	% Estimated
Jan	184	209	233	260	286	314	342	372	401	431	461	491	522	0,5
Feb	125	144	164	185	206	229	252	276	302	328	354	380	407	2
Mar	63	76	91	107	124	143	163	184	206	229	253	278	304	0,3
Apr	8	11	14	17	21	26	32	39	46	55	65	76	89	0,2
May	0	0	0	1	1	1	2	4	6	8	11	14	19	0,5
Jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0,4
Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Aug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	0,4
Oct	0	0	1	2	3	5	8	11	15	20	27	34	43	0,3
Nov	26	34	43	55	67	82	98	114	133	151	173	194	217	0,2
Dec	178	201	225	250	275	302	329	357	386	416	447	477	508	0,2
Total	584	675	771	877	983	1102	1226	1357	1495	1640	1793	1947	2114	0,7

Tableau 2 Les degrés-jours de chauffage pour des températures de base autour de 65F de 2 ans en moyenne (2014 à 2015) de la ville de Biskra. Source: URL [www.degreedays.net (using temperature data from www.wunderground.com)] (consulté le 18/03/2016 à 20h00).